

**EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG
DES EINFLUSSES NATÜRLICHER UND
SYNTHETISCHER FUTTERMATERIALIEN
AUF DAS MIKROKLIMA IM SCHUH**

Günther Hofmann

1977

INSTITUT FÜR ARBEITSPHYSIOLOGIE
DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE MÜNCHEN
Direktor: o. Prof. Dr. med. Wolf Müller-Limmroth

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES NATÜRLICHER UND
SYNTHETISCHER FUTTERMATERIALIEN AUF DAS MIKROKLIMA IM SCHUH.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von
Günther Hofmann
aus München

1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität München

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Müller-Limmroth
2. Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. K. Thureau
Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann



Tag der mündlichen Prüfung: 4.10.1977

Ich danke Herrn Prof. Dr. Müller-Limmroth
für die freundliche Überlassung dieser Arbeit
und für die Hilfe, die ich in seinem Institut
erfuhr.

Mein Dank für die Übernahme des Ko-Referates gilt
auch Herrn Prof. Dr. med. K. Thureau.

Besonders gedankt sei Herrn Dr. W. Diebschlag für
seine Unterstützung und sein Entgegenkommen bei
der Durchführung der gesamten Arbeit, im weiteren
auch den Mitarbeitern der Arbeitsgruppe "Bekleidungs-
physiologie", Herrn Dipl.-Ing. V. Mauderer, Dipl.-
Phys. W. Nocker und der techn. Angestellten Frau I.
Wachsmann.

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES NATÜRLICHER UND SYNTHETISCHER FUTTERMATERIALIEN AUF DAS MIKROKLIMA IM SCHUH.

Gliederung

	Seite
1. <u>Einleitung</u>	1 - 3
2. <u>Physiologische Betrachtungen über das Funktionssystem Fuß-Strumpf-Schuh</u>	4 - 55
2.1. Die Haut des Menschen	4 - 13
2.2. Thermoregulatorische Vorgänge im Menschen	13 - 26
2.2.1. Lokale Temperaturregelung	26 - 27
2.2.2. Zentrale Temperaturregelung	27 - 33
2.2.3. Transpiration	33 - 40
2.3. Mikroklima um den Fuß	40 - 55
2.3.1. Thermoregulatorische Sonderstellung der Füße	40 - 48
2.3.2. Mykosen speziell am Fuß	49 - 55
3. <u>Trageversuche mit Testpersonen</u>	56 - 78
3.1. Versuchsvorbedingungen	56 - 71
3.1.1. Der Untersuchungsgegenstand	56 - 59
3.1.1.1. Aufbau des Schuhs	60
3.1.1.2. Physikalische Eigenschaften der Schuhmaterialien	61 - 65
3.1.1.3. Versuchsfertige Bestückung der Schuhe mit thermo- elektrisch- und feuchtigkeitsempfindlichen Sensoren	66 - 69
a) Definition: Thermoelement	
b) Herstellung der Thermoelemente	
c) Eichung der Thermoelemente	
d) Einbau der Thermoelemente	
e) Validität (Gültigkeit) und Reliabilität (Zu- verlässigkeit) der thermoelektrischen Meßwerte	
3.1.1.4. Datenerfassungsgeräte für Temperatur und Feuchtigkeit	69 - 70
3.1.1.5. Klimatisierung des Laboratoriums	70 - 71
3.2. Versuchsplanung; Versuchsablauf	71 - 73
3.3. Versuchspersonen in der Hauptserie	74 - 78

	Seite
4. <u>Meßergebnisse und Diskussion</u>	79 - 115
4.1. Physiologische Meßdaten	79 - 87
4.2. Temperatur-Diagramme	88 - 90
4.3. Feuchte-Diagramme	90 - 96
4.4. Statistische Signifikanzprüfungen	96 - 106
4.5. Diskussion der Meßergebnisse	107 - 113
4.6. Praktische Anwendbarkeit dieser Erkenntnisse in der Schuhherstellung	114 - 115
5. <u>Zusammenfassung</u>	116 - 117
6. <u>Anhang</u>	118 - 135
7. <u>Literaturverzeichnis</u>	136 - 157
8. <u>Lebenslauf</u>	158

1. Einleitung

Die bekleidungsphysiologische Wissenschaft ist eine junge Disziplin innerhalb der Physiologie.

RICHTER [151/232] definiert sie etwa folgendermaßen:

"Die Bektleidungsphysiologie versucht Wirkungen auf Lebensvorgänge (z. B. Thermoregulation, Wärmebildung, Schweißproduktion und Schweißverdampfung) zu erforschen, die durch verschiedenartige Bekleidung, Klima, Tätigkeiten und Lebensgewohnheiten des Menschen verursacht werden. Der nächste Schritt ist die direkte Anwendung auf den tätigen Menschen im Alltag."

Die Aufgaben der Bekleidung sind verschiedener Art, wie Schutzfunktion, thermische Funktion, Mode, Schmuckfunktion. Schutz- und thermische Funktion sind von den jeweiligen klimatischen und geographischen Gegebenheiten abhängig, wie auch von verschiedenen Voraussetzungen wie: Zweck, Arbeit, Lebensgewohnheiten u. a..

Seit jeher wurde der Mode- und Schmuckfunktion der Bekleidung große Bedeutung beigemessen.

Nach KIENER [100/23] ist die Kleidung mit der Gesamtkultur eng verflochten und läßt sich als die äußere Form der Selbstverwirklichung auffassen. Sie ist der Ausdruck des Zeitgeistes, des Klassenbewußtseins, des Geschlechts, des Alters und des einzelnen Charakters. Wie sehr die Kleidung mit der Kultur einhergeht, zeigt sich auch darin, daß nach KIENER [100/21] die Kleidung umso vollkommener, vielseitiger und auch schöner ist, je höher die Kultur, je gründlicher die Beherrschung der Natur und je höher die Lebensansprüche sind.

Für die Bektleidungsphysiologie von Bedeutung ist jedoch im besonderen die thermische Funktion, die immer abhängig ist von Art und Konstruktion der verwendeten Materialien, sowie weiteren Faktoren (z. B. Schnitt). Da der

Verbrauch der natürlichen pflanzlichen bzw. tierischen Ausgangsprodukte für Bekleidung, wie Baumwolle und Leder, mit wachsender Weltbevölkerung immer mehr steigt, so ist es notwendig, synthetische Materialien mitzuverwenden.

"Ziel ist es, die Naturfaser in ihren Eigenschaften zu übertreffen durch Synthetiks in den Eigenschaften, die man fordert bzw. für besondere Zwecke verlangt" [KIENER 100/26].

Aufgabe der Bekleidungsphysiologie ist es, hautnah ein angenehmes Mikroklima zu schaffen. Da aber Rezeptoren adaptieren können auf bestimmte Reizparameter, kann es sein, daß unphysiologische Zustände dem Menschen längere Zeit während des Tages nicht bewußt werden, dennoch aber einen störenden oder gar schädlichen Einfluß ausüben können, nämlich auf:

- a) sein Leistungs- und Vigilanzniveau,
- b) auf Organe über Reflexverbindungen und Querverschaltungen verschiedener Regelmechanismen im Körper.

Daraus leitet sich im speziell vorliegenden Fall ab:

Begriffe wie z. B. Tragekomfort von Bekleidung zu quantifizieren, d. h. experimentell zu untersuchen.

In früheren Untersuchungen am Institut der Arbeitsphysiologie wurde bereits der Einfluß verschiedener synthetischer und natürlicher Schuhschaft- und Sockenmaterialien auf das Mikroklima um den Fuß untersucht [36 - 49].

Unter Berücksichtigung vorstehender Gründe und der Tatsache, daß ein Großteil der Bevölkerung nach dermatologischer Diagnostik an Fußpilz erkrankt ist, - SELIGER [166.] spricht von 60 - 70 %, MONTGOMERY [128.] nennt schon 1945 in Amerika einen Durchseuchungsgrad von 50 -

90 % der Bevölkerung, - war es das Ziel der vorliegenden experimentellen Untersuchung, quantitative Angaben zum Mikroklima im Schuh zu machen, die im besonderen auf die Verwendung verschiedener Schuhfuttermaterialien zurückzuführen sind.

2. Physiologische Betrachtungen über das Funktionssystem Fuß - Strumpf - Schuh

2.1. Die Haut des Menschen

Die Haut ist im Vergleich zu anderen Organen des Menschen ein inhomogenes Organ. Sie besteht aus anatomisch unterschiedlich aufgebauten Schichten, nämlich: Epidermis, Corium, Subcutis.

Die Epidermis ist ein dünnes, ausschließlich aus Zellen bestehendes Gewebe und setzt sich im allgemeinen etwa zur Hälfte aus dem Stratum Malpighi (lebendes Gewebe) und dem stratum corneum (totes Gewebe) zusammen. Die Epidermis erneuert sich kontinuierlich. Das ständige Absterben der Zellen an der Grenze zur Hornschicht und das Abskilfern (Mazeration) an der Hautoberfläche wird durch Mitosen in der basalen Keimschicht kompensiert. Die Zellerneuerung geht durch eine Wanderung in Richtung Hautoberfläche vor sich, wobei die Zellen beim Übergang von der lebenden in die tote epidermale Schicht vollständig verhornen.

In Abhängigkeit von der mechanischen Beanspruchung weist die Hornschicht verschiedene Stärken auf: die Dicke auf dem Körper beträgt zwischen 6 und 32 μm und erreicht unter den Fußsohlen Werte bis zu 80 μm und mehr.

In der Basal- oder Keimschicht findet man außerdem helle MASSONsche Zellen, die ein Pigment, das Melanin, bilden, welches bestimmend für die Hautfarbe ist (in der Haut von Albinos fehlt es gänzlich).

Das Corium (Lederhaut) als Mittelschicht der Epidermis setzt sich zusammen aus stratum papillare und stratum reticulare, wobei die obere Schicht vornehmlich aus

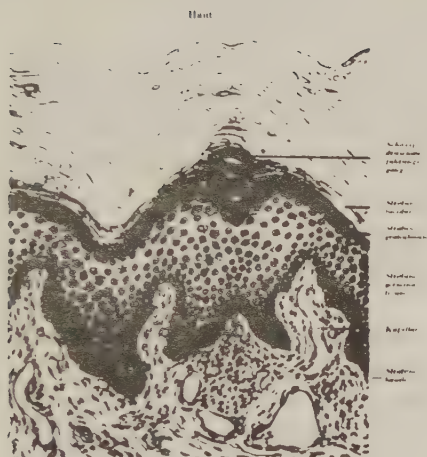


Abb. 1

Senkrechter Durchschnitt durch die Haut der Fingerbeere eines Erwachsenen. (Hämatoxylin-Eosin-Färbung. Vergrößerung 250fach). Aus [14]

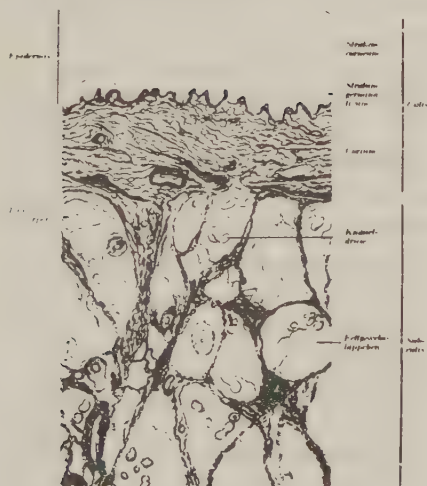


Abb. 2

Senkrechter Durchschnitt durch die Haut der menschl. Fußsohle. (Elastikafärbung mit Resorzin-fuchsin. Starke Lupenvergrößerung). Aus [14]

Bindegewebe mit Kollagen- und elastischen Fasern, die untere Schicht besonders aus Reticulin- und elastischen Fasern mit Reticulumzellen besteht.

Blut und Lymphgefäße, Nerven und verschiedene Endkörperchen, Fibrocyten, granulierten Zellen, Haarfollikel, Talgdrüsen und Ausführungsgänge der Schweißdrüsen sind weitere Bestandteile des Coriums.

Aufgrund ihrer reichhaltigen Versorgung mit Nerven ist die Haut ein Sinnesorgan.

Allgemein unterscheidet man zwischen den Lamellenkörperchen (VATER-PACINISCHE Körperchen), den reticulären Strukturen mit freien Enden und den knäuelartigen Gebilden (MEISSNERsche Tastkörperchen). Sie übermitteln die Tastempfindungen und geben Informationen über den Druck im Gewebe weiter.

Die tiefste Schicht der Haut ist die Subcutis. Sie besteht aus lockerem Bindegewebe mit unterschiedlicher Fett- und Wassereinlagerung. In ihr liegen die Schweißdrüsen (Glomerula).

Die Haut übt zahlreiche Funktionen aus: Trotz ihrer Verschiedenheit dienen sie alle einem übergeordneten Ziel, nämlich der Informationsvermittlung zwischen dem Organismus und der Außenwelt. Die Aufgabe der Haut besteht nicht nur in der Körperbedeckung, sondern beinhaltet vielfältige, miteinander verknüpfte Austausch- und Schutzfunktionen.

Zu nennen sind:

Funktion der Keratinbildung in der äußeren Epidermis.

Das Keratin ist ein schwefelreiches Skleroprotein in Haaren, Nägeln und oberster Hautschicht.

Über die Vorgänge, die zur Bildung des Keratins führen, ist noch sehr wenig bekannt. Die Epidermis enthält nach STEIGLEDER [174/691] mindestens drei Zellarten, darunter auch die Keratinocyten (verhornende Epidermiszellen). Diese erfahren in der Epidermis einen Strukturwandel von der Basalzelle über die Stachelzelle bis zur Hornzelle. Auch die weiche Vorstufe des Keratins, das Keratohyalin, scheint für die Verhornung eine Bedeutung zu haben, denn zwischen normaler Verhornung und normaler Ausbildung dieser Keratohyalinkörner besteht offenbar eine Beziehung [STEIGLEDER 174/691].

Funktion der Schweißbildung:

Auf der Oberfläche der Haut münden die Schweißdrüsen, die eingeteilt werden in die kleineren und zahlreicheren ekkrinen Drüsen und in die mit größerem Porus ausgestatteten apokrinen Drüsen, die vornehmlich in bestimmten Regionen (Achseln, Perigenitalregion, Gehörgang, Mammae) lokalisiert sind [172/512].

Der Unterschied besteht vor allem im Sekretionstyp:

Die apokrinen Drüsen sezernieren nicht nur ein wässriges Sekret, sondern geben zusätzlich den protoplasmatischen Inhalt eines Teiles ihrer Zelle ab.

Neben der sichtbaren Transpiration geht eine ständige unmerkliche Absonderung der Haut (perspiratio insensibilis) vor sich, die unter "normalen" Bedingungen in der Größenordnung von $5 - 10 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ liegt. Die sensible Feuchteabgabe kann i. M. bei sitzender Tätigkeit mit $50 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ angesetzt werden, steigt beim Gehen (5 km/h) auf Werte von $110 - 150 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ und kann bei schwerer Körperarbeit $800 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h}$ und kurzfristig noch mehr erreichen.

Funktion der Ausscheidung:

In Tabelle 1 sind nach KUNO [109/249] die wesentlichen Bestandteile des Schweißes angegeben. Die Aufzählung könnte noch ergänzt werden durch verschiedene, jedoch nur in geringsten Mengen, nachweisbare Elemente, wie Fette, Vitamine, Zucker, Enzyme und Hormone.

Tab. 1

Durchschnittliche Konzentration wesentlicher Bestandteile in mg % (mg/100 ml). [109/249]

Substanz	Schweiß
Chlorid	320
Natrium	200
Kalium	20
Calcium	2
Magnesium	1
Harnstoff-Stickstoff	15
Aminosäuren-Stickstoff	1
Ammoniak	5
Kreatinin	0,3
Glucose	2
Milchsäure	35

Respiratorische Funktion:

Die Haut ist fähig, Sauerstoff aus der Luft und Kohlendioxyd zu resorbieren bzw. abzugeben. Gemessen am Gasaustausch des Körpers über die Lunge ist dieser Anteil jedoch von sehr untergeordneter Bedeutung. Nach ENDRES [52] beträgt die Sauerstoffaufnahme bis zu 1,9 %,

Die Abgabe für Kohlendioxyd 2,7 % der Gesamtatmung. SCHÄFER [157/229] gibt folgende Durchschnittswerte an: Sauerstoffaufnahme $120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$; Kohlendioxydabgabe $88 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$. Die Gaspassage durch die Haut folgt den physikalischen Gesetzen der Diffusion.

Funktion der Resorption:

Die gesunde Haut ist aufgrund ihrer Struktur, durch ihren Wasser-Fett-Film und durch die der Glanzschicht (stratum lucidum) eigene wasserabstoßende Wirkung für viele Substanzen undurchlässig. Die Follikelöffnungen ermöglichen die Resorption.

Funktion der Pufferung, der pH der Haut:

Der pH der Haut resultiert aus den in der Hornschicht enthaltenen wasserlöslichen Substanzen, aus den Bestandteilen von Schweiß- und Talgsekretion, sowie aus der ausgeschiedenen Kohlensäure. Nach SPIER und PASCHER [170] zeigt eine Aufgliederung des Wasserlöslichen in 1000 g "Schabselmaterial" der Hautoberfläche etwa 550 mval/l Kationen und ca. 600 mval/l Anionen, was eine Wasserstoffionenkonzentration im schwach sauren Bereich zwischen pH 5 und pH 6 ergibt.

Nach KLARMANN [101] besteht ein Zusammenhang zwischen dem pH der Haut intertriginöser Partien und deren mikrobieller Infektion (s. 2.3.2.).

Die Haut hat ihren sauersten Bereich im stratum lucidum (pH 5,4), bedingt durch den dortigen Zellzerfall mit Auflösung der Zellgrenzen. Da nun im Zellkern und der Zelle Nukleinsäuren, wie DNS und RNS vorhanden sind, und durch den Zellzerfall frei werden, so entstehen in diesem Bereich vermehrt Wasserstoffionen, die für den genannten pH verantwortlich zu sein scheinen.

Die Azidität verhilft der Haut zu einer verstärkten bakteriostatischen Eigenschaft, ebenso wie der Wasser-Fett-Film, der zudem die Haut befähigt, eine Pufferfunktion gegenüber mit ihr in Kontakt kommenden basischen oder sauren Substanzen auszuüben. Substanzen, die diese Puffereigenschaften ermöglichen, sind: das Milchsäurepuffersystem, das Laktat und Bikarbonat aus dem Schweiß, die wasserlöslichen Verbindungen aus der Hornschicht, der Talg, die Kohlensäureradikalen und die Aminosäuren, die auch zur Aufrechterhaltung des pH eine große Rolle spielen.

Sinnesempfinden der Haut:

HENSEL [81/99] faßt die Tast-, Schmerz- und Temperaturempfindungen mit dem Begriff "cutane Sensibilität" zusammen.

Für die Tastempfindung sind die MEISSNERSchen Tastkörperchen, für Temperaturempfindung die RUFFINI-Endorgane (Wärmerezeptoren) und KRAUSE-Endkolben (Kälterezeptoren), für Schmerzempfindung nur freie Nervenendigungen verantwortlich. Unterhalb 8°C und oberhalb 50°C übernehmen die Schmerzrezeptoren die Aufgabe der Thermorezeptoren. Auf die Kalt- und Warmrezeptoren wird in Kapitel 2.2.2. näher eingegangen.



Abb. 3 Warmrezeptor; aus [127/27]

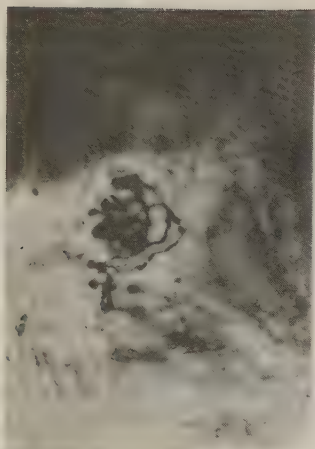


Abb. 4

Kaltrezeptor;
aus [127/25]

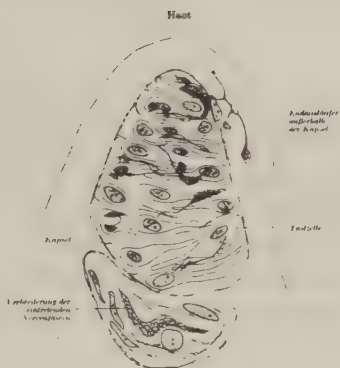


Abb. 5

MEISSNERSches Tast-
körperchen;
aus [187]

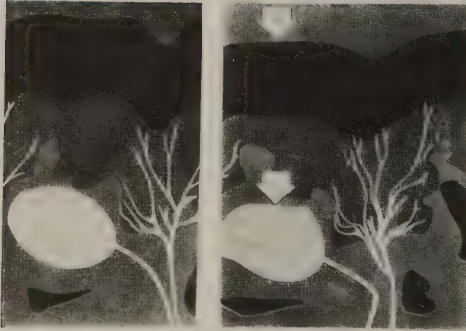


Abb. 6

VATER-PACINisches
Körperchen, links
im Ruhezustand,
rechts Deformation
des Körperchens;
aus [156]

Funktion der Melaninbildung:

Das Melanin ist das Pigment der Haut, der Haare und der Augen.

Die Melaninbildung vollzieht sich auf Grund sehr komplexer Vorgänge, die durch genetische und hormonale Faktoren bestimmt sind, in der Basalschicht der Epidermis.

"Seine farbgebende Komponente ist ein Derivat des Tyrosins, das in den Melanocyten über verschiedene Zwischenstufen zu einer dunklen, schwarz-bräunlichen, granulären Substanz oxydiert wird. Diese verbindet sich mit verschiedenen Proteinen unter der Bildung von Melanoproteinen. Die Zusammensetzung des Melaninpigmentes ist daher wahrscheinlich nicht einheitlich." GEDIGK [63/55]. LEONHARDT [114/273] gibt die Verteilung der Melanocyten mit $1000/\text{mm}^2$ an.

Talgbildung, Wasser-Fett-Film:

Bei dem Fettfilm der Haut handelt es sich um einen Komplex wasser- und fettlöslicher Substanzen, die im Talg, im Schweiß und im stratum corneum vorhanden sind.

Die Talgproduktion und die Zusammensetzung des Wasser-Fett-Filmes der Haut zeigen eine große Variationsbreite, die von der Lokalisation, vom Alter und von konstitutionellen Faktoren abhängig ist.

Schutzfunktion:

Die Haut besitzt eine passive und aktive Schutzfunktion. Die Fähigkeit, aktiv einen Schutz auszuüben durch Phagocytose kommt dadurch zustande, daß durch Eindringen von heterogenen Substanzen oder von bakteriellen oder mykotischen Mikroorganismen in die Haut das retikuloendotheliale System mobilisiert wird, dessen Elemente mit der Fähigkeit zur Phagocytose ausgestattet sind.

Die passive Schutzfunktion der Haut besteht in einer mechanischen Widerstandsfähigkeit, die durch die Struktur der Cutis bedingt ist, gegenüber Gewalteinwirkungen auf ihre Oberfläche.

Thermoregulatorische Funktion:

Im wesentlichen kommt diese Funktion zustande durch ein Zusammenspiel von Vasokonstriktion und Vasodilatation der Arteriolen mit glatten Muskelfasern und der Sphinkteren vor dem Kapillarbett in den Coriumpapillen. Im allgemeinen fordert ein Absinken der Hauttemperatur eine Vasokonstriktion mit Verminderung der dem Wärmeverlust ausgesetzten Blutmenge und umgekehrt.

2.2. Thermoregulatorische Vorgänge im Menschen

Der Mensch ist ein homöothermes (gleichwarmes) Wesen.
D. h.: Die Körpertemperatur ist konstant und von der

Umgebungstemperatur weitgehend unabhängig.

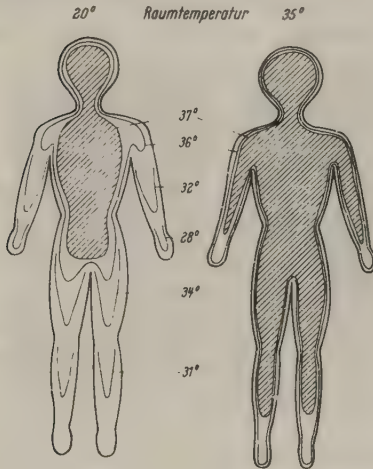


Abb. 7 Schematisierte Isothermen in der Körperschale bei 20° C und 35° C Raumtemperatur (schraffiert das "homiotherme" Kerngebiet) nach ASCHOFF [6/56].

Sie weist jedoch ähnlich, wie verschiedene andere vegetativ gesteuerte Vorgänge, so: Herzfrequenz, Blutdruck, Erregbarkeit des Atemzentrums, Blutzuckergehalt, eine bestimmte Tagesperiodik auf. Nach GUYTON [73] sind die Temperaturwerte am höchsten nachmittags (rektal 37.3° C), am niedrigsten in der Früh (rektal 36.4° C).

Abb. 8 nach HEISER u. COHEN [77] zeigt den Tagesgang der Kern- und Oberflächentemperaturen (Mittelwerte von 6 Bettlägerigen).

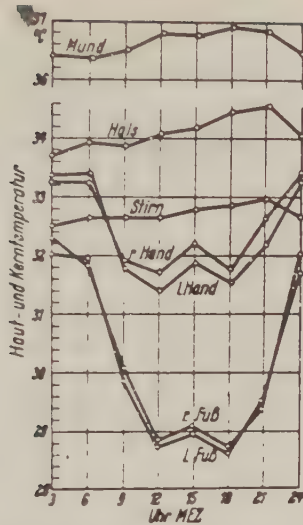


Abb. 8 Tagesgang der Körper- und Oberflächentemperaturen [77]

HORVATH [89] gibt unter vergleichbaren Bedingungen, im Bett morgens vor dem Aufstehen als Mittelwert für den Mann 36.78°C , für Frauen insgesamt 37.00°C an. Bei jüngeren Menschen können nach GROSSE-BROCKHOFF [72] die Tagesschwankungen bis 1.5°C betragen.

Für die Konstanzhaltung ist wesentlich:

1. Eine Regulierung der Wärmebildung: Chemische Thermoregulation.
2. Eine Regulierung der Wärmeabgabe: Physikalische Thermoregulation.

In Tabelle 2 sind die von GANONG [62/222] angegebenen thermoregulatorischen Vorgänge für Kälte- und Warmreize zusammengestellt.

Tab. 2

Temperaturregulations-Mechanismen [62/222]

Durch Kälte aktivierte Mechanismen:						
- Kältezittern - Hunger - gesteigerte willkürliche Aktivität - gesteigerte Sekretion von TSH, Noradrenalin und Adrenalin	}	Steigerung der Wärmeproduktion				
- Vasokonstriktion der Hautgefäße - Einrollen - Gänsehaut			}	Verringerung der Wärmeabgabe		
Durch Wärme aktivierte Mechanismen:						
- Vasodilatation der Hautgefäße - Schweißsekretion - gesteigerte Atmung					}	Steigerung der Wärmeabgabe
- Apathie und Untätigkeit - veränderte Sekretion von TSH	}	Verringerung der Wärmeproduktion				

Bei körperlicher Ruhe erfolgt die Wärmeproduktion zum größten Teil, 70 %, in den Organen der Schädel-, Brust- und Bauchhöhle, die als Körperkern zusammengefaßt werden. HENSEL [79/329] gibt die maximale Schwankungsbreite dieser Körperkerntemperatur beim gesunden Menschen mit $37^{\circ}\text{C} \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ (rektal gemessen) an. Sie ändert sich auch bei stärker wechselnden Klimabedingungen oder mittelschwerer Arbeit am geringsten [62/220]. Diese Tatsache wird auch in Untersuchungen von HARDY u. DOBOIS [76] bestätigt, wie Abb. 9 veranschaulicht.

Jedoch bei schwerer körperlicher Arbeit kommt es zu einer Temperaturerhöhung. Diese Tatsache wurde von vielen Autoren [13, 18, 32, 87] bestätigt und als Arbeitshyperthermie bezeichnet.

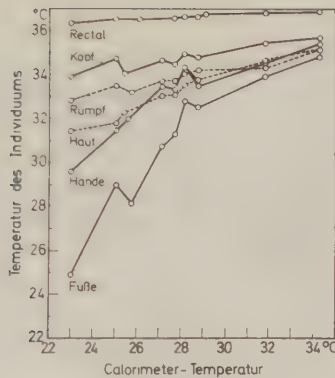


Abb. 9 Hauttemperaturen verschiedener Körperteile eines unbedeckten Menschen bei verschiedenen Umgebungstemperaturen in einem Calorimeter, nach HARDY und DUBOIS [76]

Die Muskulatur und die Haut, die als "Schale" den Körperkern umgeben, liefern in Ruhe nur ca. 18 % der gesamten Wärmemenge (s. Abb. 10). Bei Muskelarbeit jedoch überwiegt die im Muskel gebildete Wärme. Die chemische Thermoregulation schützt vor Unterkühlung durch die Steigerung der Wärmebildung bei sinkender Außentemperatur. Die Wärme wird produziert durch: basale Stoffwechselvorgänge, Nahrungsaufnahme (spezifisch dynamische Wirkung), im wesentlichen jedoch durch Muskeltätigkeit:

- a) Unwillkürlich: Der Reflextonus nimmt unter Steigerung der Wärmebildung zu.
- b) Willkürlich durch Herumlaufen, Zusammenschlagen der Arme usw..

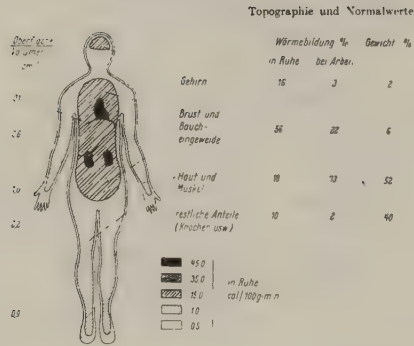


Abb. 10 Topographie der Wärmebildung, mit Angaben über die Oberflächen-Volumenverhältnisse verschiedener Körperteile [8]

Schließlich vermögen noch endokrine Einflüsse eine Änderung der Wärmebildung herbeizuführen, besonders bei einer plötzlichen starken Senkung der Umgebungstemperatur. Diese Wärmebildung besteht in einer schlagartigen Durchblutungsrosselung der Haut unter dem Einfluß von Adrenalin und Noradrenalin. Die Katecholamine verursachen plötzliche, aber kurz dauernde, Thyroxin bewirkt langsam einsetzende, lang anhaltende Steigerung der Wärmeproduktion [23, 79/329].

Die Wärmebildung setzt dann ein, wenn die Isolation der Körperschale nicht mehr verstärkt werden kann und die Umgebungstemperatur unter 24°C , die sogenannte Indifferenztemperatur absinkt.

Nach SCHLÄFKE [158/240] ist eine Umgebungstemperatur von $24^{\circ}\text{C} \pm 0.6$ angenehm.

Im Bereich zwischen 24°C und 35°C ist die Wärmebildung recht konstant, man bezeichnet sie als "metabolisch neutrale Zone". Ihre Breite wird von der unteren kritischen Temperatur [163] bestimmt, das ist diejenige Temperatur, unterhalb welcher der Körper bei unveränderter Wärmeproduktion auskühlen würde. Sie ist nach RUBNER [154] eine Funktion der maximal erreichbaren Isolation, die ja variabel ist, und der Höhe des Grundumsatzes, das heißt: unterhalb der kritischen Temperatur ist eine Umsatzsteigerung notwendig.

In warmer Umgebung kann von einer oberen kritischen Temperatur gesprochen werden, was bedeutet, daß oberhalb einer bestimmten Raumtemperatur die Kerntemperatur zusammen mit dem Umsatz ansteigt. Bei einer Erhöhung der Kerntemperatur um 1°C wächst der Umsatz um etwa 13 % an. Dies wurde als Folge der Reaktions-Geschwindigkeits-Temperatur-Regel (RGT-Regel von van't HOFF) gedeutet.

Im Mittel beträgt die Wärmebildung in Ruhe 75 - 100 kcal/h, bei Arbeit vorübergehend bis zu 1200 kcal/h, über längere Zeit 600 kcal/h. MÜLLER [131/13] gibt folgende Aufteilung an:

Tab. 3

Wärmebildung einzelner Organe beim Menschen nach
MÜLLER [131/13]

Organ	kcal/h
Haut	1
Muskulatur	12
Gehirn	12
Lunge	3
Herz	8
Niere	6
Verdauungsorgane	26
Summe = Grundumsatz	68

Diese Wärmemengen würden, bliebe die Wärmeabgabe unverändert, schon nach 5 - 10 Minuten eine Kerntemperatursteigerung von 1°C - 2°C bewirken.

Dies verhindert die Regulation bzw. die Änderung der Wärmeabgabe. Voraussetzung hierfür ist ihr Transport mit Hilfe des Herz-Kreislaufsystems an die Oberfläche, bestimmt wird sie durch das radiale Temperaturgefälle zwischen Körperkern und Körperoberfläche und durch das Ausmaß des Wärmetransportes durch diese Schichten. Neben diesem radialen Temperaturgefälle von 2°C - 3°C zwischen Kern und Oberfläche besteht auch ein axiales Gefälle von proximal nach distal [27, 29, 169], das besonders in den Extremitäten ausgeprägt ist. Dies hängt einerseits mit der Variabilität der Durchblutung zusammen, die z. B. am Finger 1 : 600, an der Hand 1 : 30, im Schlangengewebe am Rumpf 1 : 7 beträgt [6/55], andererseits kann auf Grund eines "Gegenstromwärmeaustausches" [19, 24, 91] in den Extremitäten ein beträchtlicher Wärmeaustausch erfolgen [15].

Die gesamte Wärmeabgabe in Ruhe setzt sich nach ABERHALDEN [2/61] aus folgenden Anteilen zusammen:

- a) Wärmestrahlung 44 %,
- b) Wärmekonvektion und Wärmeleitung 31 %,
- c) Wasserverdunstung durch die Haut (perspiratio insensibilis) 21 %,
- d) Sonstiges 4 %,
- e) Perspiratio sensibilis, besonders bei Arbeit ($\sim 0.60 \text{ kcal/ml}$).

Die Strahlung macht nur in Ruhe den größten Betrag aus; bei höherer Umgebungstemperatur oder Arbeit tritt die Wärmeabgabe durch Schweißwasser-Verdunstung stärker in den Vordergrund. Der durch Strahlung hervorgerufene Wärmeverlust ist eine Funktion der Temperatur des strahlenden Körpers, beträgt bei normaler Kleidung und 20°C

Umgebungstemperatur ca. 1200 kcal/die, beim nackten Menschen bis zu 1800 kcal/die, und folgt dem STEFAN BOITZMANN'schen Gesetz, $Q_s = \sigma \cdot \epsilon \cdot F_s (T_h^4 - T_u^4)$, wobei Q_s der Strahlung entspricht, σ die Strahlungskonstante, ϵ die Emissionszahl, F_s die strahlende Körperfläche und T_h bzw. T_u die absoluten Temperaturen der Haut und der angestrahlten Körper (Umgebung) bedeuten.

Wärmeleitung und Konvektion sind abhängig von der Hautbeschaffenheit, wie der angrenzenden Materialien. Eine Durchfeuchtung der Haut erhöht die Wärmeleitfähigkeit erheblich. Ruhende Luftschichten wirken als sehr guter Isolator und vermindern die Wärmeabgabe beträchtlich. Bewegte Luft hingegen steigert die Wärmeabgabe dadurch, daß die erwärmten Luftschichten von der Körperoberfläche entfernt und durch kalte Luft ersetzt werden.

Leitung (Konduktion) ist nach GANONG [62/220] Wärmeaustausch zwischen - in Kontakt stehenden - verschieden temperierten Objekten, wobei die abgegebene Wärmemenge der Temperaturdifferenz beider Objekte proportional ist (Wärme-Gradient). Ein rein konduktiver Wärmetransport ist nur in den obersten Schichten der Epidermis zu finden, sonst überwiegt der Wärmetransport durch ein bewegtes Medium (bewegte Flüssigkeit, bewegte Luft). Wärmetransport vom Inneren des Körpers erfolgt durch das Blut, also konvektiv.

Abb. 11 nach HENSEL [79/546] zeigt den Wärmestrom zwischen Körper und Umgebung.

Bei Körperarbeit kann die freigesetzte Wärme nur zu einem sehr geringen Teil über Wärmeleitung durch das Gewebe an die Oberfläche abgegeben werden auf Grund der kleinen Wärmeleitzahl.

λ von Körper- und Fettgewebe: 0.14 (kcal/m·h·°C)

λ von lebender Haut: 0.47 - 3.6 (kcal/m·h·°C)

(abh. von Temperatur, Durchblutung, Durchfeuchtung)

[150/409].

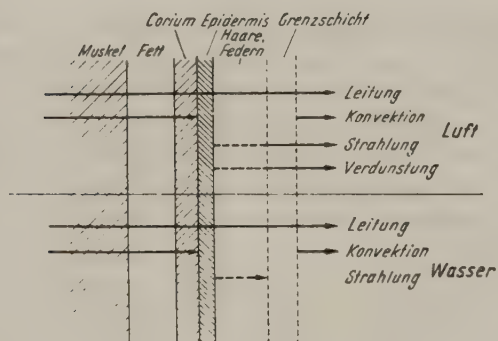


Abb. 11 Komponenten des Wärmestromes zwischen Körper und Umgebung

Das Blut ($\lambda = 0.44$ kcal/m·h·°C) kann durch seine Wärmeleitfähigkeit der Muskulatur bzw. dem Körper bei Arbeit große Mengen an Wärme entziehen und an die kühlere Körperperipherie abgeben. Dieser Transport erfolgt jedoch nicht nur bei Arbeit, sondern ständig, da eine Temperaturdifferenz besteht zwischen Kern und Schale, und wird erleichtert durch den Transport der Wärme in solche Körperteile, die bei kleinem Durchmesser relativ große Oberflächen haben und damit die Wärmeabgabe begünstigen

(Durchblutungszunahme der Finger um das 600fache). Mit ansteigender Durchblutung werden Teile der Körperschale konvektiv überbrückt, so daß die Dicke der Isolation abnimmt und schließlich kann die Transportzahl, da der Wärmetransport von einem Flüssigkeitsstrom beträchtlich beeinflußt wird, mit der Durchblutung im Bereich des eigentlichen Temperaturgefälles zur Hautoberfläche hin ansteigen [30].

Als Maß, das alle Komponenten hinsichtlich der Isolation des Temperaturgefälles, der Transportzahl der Durchblutung berücksichtigt, verwendet man die Wärmedurchgangszahl (K) [16]. Sie entspricht dem reziproken Wert des Wärmewiderstandes und gibt an, wieviel Wärme pro Flächen- und Zeiteinheit pro 1°C Temperaturdifferenz abströmt:

$$K = \frac{\text{Wärmestrom}}{\text{Temperaturgefälle}}$$

Man unterscheidet eine innere Wärmedurchgangszahl, die das Temperaturgefälle vom Kern zur mittleren Hauttemperatur berücksichtigt, und eine äußere Wärmedurchgangszahl, wobei das Temperaturgefälle von Haut zur Umgebung erfaßt wird. Zieht man das Temperaturgefälle zwischen Kern und Umgebung in Betracht, so erhält man die gesamte Wärmedurchgangszahl. Sie liegt in der Größenordnung von $0.02 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} \cdot ^{\circ}\text{C}$ beim Nackten und 25°C Umgebungstemperatur (s. Abb. 12).

Die Wärmedurchgangszahl zeigt, wie der Organismus mit Hilfe der Durchblutung den Wärmeabstrom den jeweiligen Außenbedingungen anzupassen versucht (s. Abb. 13).

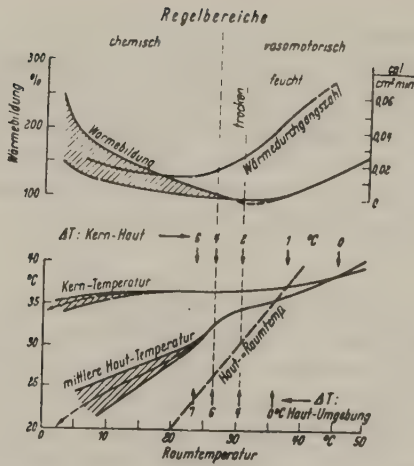


Abb. 12 Abhängigkeit einiger Größen der Temperaturregulation von der Raumtemperatur beim Nackten [10]

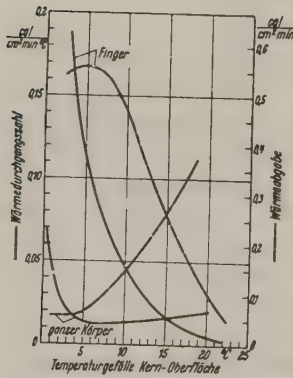


Abb. 13 Wärmedurchgangszahl (— ; Ordinate links) und Wärmeabgabe (- - - ; Ordinate rechts) des ganzen Körpers in Luft und des in Wasser tauchenden Fingers (bei 24° C Raumtemperatur), aufgetragen gegen das Temperaturgefälle Kern-Oberfläche (mittlere Hauttemperatur für den Körper, Wassertemperatur für den Finger); aus [7]

Mit fallender Haut- und Raumtemperatur wird die über den gesamten Körper ermittelte Wärmedurchgangszahl schnell geringer. Die Verkleinerung genügt, das steigende Temperaturgefälle so auszugleichen, daß die Wärmeverluste zunächst bis 4°C konstant bleiben. Wird dieser Wert nun von der Temperaturdifferenz zwischen Kern und Haut überschritten, so kann die geringe Abnahme der Wärmedurchgangszahl ein Anwachsen der Wärmeverluste nicht mehr verhindern [6/54].

Ein weiterer wesentlicher Faktor für die Wärmeabgabe ist beim Menschen die Wasserverdampfung von der Hautoberfläche und den Schleimhäuten des Respirationstraktes. Eine gewisse Wassermenge wird ständig ohne sichtbares Schwitzen von der Hautoberfläche und von den Lungen abgegeben und als perspiratio insensibilis bezeichnet. Sie beträgt für die Haut durch Verdunstung unter normalen Verhältnissen bis zu 500 ml/die [168/190]; für die Lungen beträgt der Wasserverlust in Form von Wasserdampf ca. 400 ml/die. Der respiratorische Anteil beträgt demnach 10 - 15 % der gesamten Wärmeabgabe. Zur Verfügung stehen zwei Möglichkeiten des Wärmeabtransports, zum einen die Wärmeabgabe durch Erwärmung der Inspirationsluft, zum anderen die Abgabe durch Mehrausatmung von Wasserdampf.

Nach WEBSTER [188] können bei sehr tiefen Außentemperaturen die Atemwege mit über 30 % an der gesamten Wärmeabgabe beteiligt sein.

Eine aktive Beeinflussung der Wärmeabgabe durch die Atemwege besteht nach KAUFMANN [95] in einer Veränderung des Atemzugvolumens, Atemminutenvolumens der Expirationstemperatur und des Wasserdampfdruckes der Expirationsluft. Dabei spielt die Änderung des Atemzugvolumens eine geringe Rolle. Die Temperatur der

Expirationsluft und damit die Konvektion wird durch Änderung der Schleimhautdurchblutung reguliert. Der Wasserdampfdruck der Expirationsluft ist nicht konstant, sondern steigt mit zunehmender Temperatur und Feuchte in der Inspirationsluft an. Die Erklärung hierfür ist im "Totraumeffekt" zu finden, durch den je nach Umgebungstemperatur Wasser und damit Wärme zurückgehalten bzw. zusätzlich abgegeben wird. Stellgröße für die Körpertemperatur ist nach ALBERS [5] die Totraumventilation.

Die restlichen 4 % der Wärmeabgabe erfolgen weiterhin durch die Erwärmung der zugeführten Nahrungsmittel und durch Ausscheidung körperwarmer Exkrete. Dieser Faktor ist jedoch nur von geringer Bedeutung.

2.2.1. Lokale Temperaturregulation

Von lokaler Temperaturregulation ist zu sprechen [79/371], wenn lokale Reize am Gefäßsystem angreifen auf verschiedene Arten:

- a) Durch direkte Temperatureinwirkung auf die Blutgefäße. Wärme wirkt auf die glatte Muskulatur der Blutgefäße tonussenkend und somit gefäßdilatierend, ebenso wie sie auch auf andere glattemuskuläre Organe z. B. Darm, Blase etc. erschlaffend wirkt. Direkte Anwendung von Kälte führt entsprechend zu lokaler Gefäßkonstriktion.
- b) Durch Bildung lokaler vasoaktiver Wirkstoffe. Dies sind Substanzen, die schon in geringen Konzentrationen die Weite der Kapillaren und der Arteriolen beeinflussen. Konstriktion wird hervorgerufen durch

Adrenalin und in besonderem Maße durch Noradrenalin [190]. Ihre Wirkung auf die Gefäße ist zum Teil jedoch stark abhängig von anderen Stoffwechselprodukten, die selbst vasoaktive Effekte haben, wie z. B. Kohlensäure, Milchsäure, ATP etc. und zum Teil abhängig von der Tätigkeit des Organs. Histamin hingegen hat eine stark dilatierende Wirkung auf die Kapillaren. Andere lokal gebildete Stoffe, die zu einer Erweiterung der Gefäße führen, konnten bislang noch nicht identifiziert werden [3, 57, 167]. Nach SHEPHERD [158] jedoch spielen aktive vasodilatierende Mechanismen, wenn überhaupt vorhanden, eine untergeordnete Rolle im Bereich der Akren bezüglich der Hautdurchblutung.

Neben diesen rein lokalen Regelmechanismen kann man auch einen spinalen Mechanismus annehmen, nämlich über spinale oder höhere Reflexe, ausgehend von den Thermo-rezeptoren der Haut. Es zeigte sich, wenn ein Temperaturreiz auf eine vom Kreislauf abgetrennte Extremität einwirkt, daß sich vom gereizten Hautareal entfernt die Durchblutung änderte [99]. Erwärmung einzelner Körperteile führt auch zu selektiver Vasodilatation der Hautgefäße nicht exponierter Körperteile.

2.2.2. Zentrale Temperaturregulation

Das Zentrum der Temperaturregulation im menschlichen Organismus ist ein im Zwischenhirn gelegenes Feld des Hypothalamus. In ihm finden sich Zentren (Nuclei), welche über das vegetative Nervensystem die wichtigsten Regulationsvorgänge zusammenfassen und steuern: so auch die Wärmeregulation.

Nach BENZINGER [21/233] liegen im vorderen Hypothalamus das AHRONSON-SACHS-Zentrum (Wärmezentrum) und im hinteren Hypothalamus das KREHL-ISENSCHMIDT-Zentrum (Kältezentrum), die miteinander über eine feed-back-Schaltung verbunden sind.

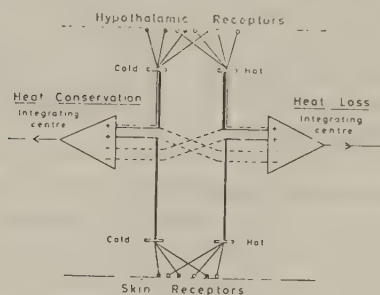


Abb. 14 Einfaches Schema der Thermoregulation, nach WYNDHAM [194]

Im Hypothalamus finden sich näher noch nicht bekannte Rezeptoren speziell in den Wänden der Blutgefäße, die hier sehr zahlreich sind und auf geringste Temperaturänderungen des Blutstromes vom Sollwert (37°C) im Bereich von hundertstel Graden reagieren [104/1049].

Zudem erhält das Wärmezentrum noch laufend Afferenzen von den in der Haut gelegenen Thermorezeptoren, die auf Zunahme des Temperaturgefälles Körperkern - Körperoberfläche reagieren. Impulse erreichen dieses Zentrum reflektorisch, sowohl durch Einfluß der Bluttemperatur auf das Zentrum selbst, als auch durch direkten Einfluß von Wärme oder Kälte auf die Hautgefäße.

Da der menschliche Organismus neben der Tagesperiodik bezüglich der Temperatur auch eine aber schwach ausgebildete Jahresperiodik aufweist, muß an eine zentrale Regelung gedacht werden. Dies veranschaulicht Abbildung 15. Abb. 15 a zeigt den Vasomotorentonus im Finger gemessen bei lokalem Kältereiz in 19°C Raumtemperatur [nach KRAMER 105].

Abb. 15 b zeigt das Ausmaß des Kältezitterns nach 1 Stunde Aufenthalt in 14°C beim Nackten (Ordinaten: Abweichung vom Jahresmittelwert in %) [31].

Abb. 15 c gibt die Lufttemperatur an, die als kalt empfunden wird (Abweichung von der im Jahresmittel als "kalt" empfundenen Temperatur) [nach SCHULZ 165].

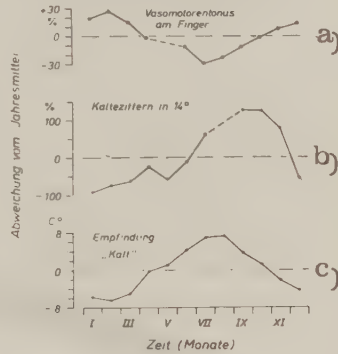


Abb. 15 Jahresspiegel
beim Menschen

Die Abbildungen zeigen, daß der Vasomotorentonus im Winter höher ist als im Sommer, das Ausmaß des Kältezitterns liegt im Winter weit unter, im Sommer über dem Jahresdurchschnittswert, die Temperaturen, die als "kalt" empfunden werden, liegen im Winter unter, im Sommer über dem Jahresdurchschnittswert. Nach ASCHOFF [5/104] können die Befunde aus Abb. 15 b und c als "Folge der Veränderungen der Isolation der Körperschale" gedeutet werden. Der Schwellenwert für Kaltempfinden ist im Winter erhöht, im Sommer erniedrigt.

Für die Empfindung von Temperaturen im Hautniveau sind Exterorezeptoren verantwortlich. Zu ihnen zählen die

Thermorezeptoren, von denen man zwei Arten unterscheidet. Zum einen die Wärmerezeptoren, die RUFFINI-Endorgane, sie antworten maximal auf Temperaturen über der Körpertemperatur, bilden Erregungen bei Temperaturen zwischen 20°C und 45°C und haben ein Maximum der Impulsbildung bei 38°C [80].

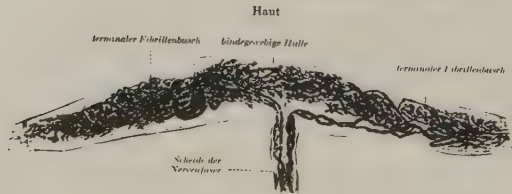


Abb. 16 RUFFINisches Körperchen (Vergrößerung 175fach); aus [149]

Zum anderen gibt es Kälterezeptoren (KRAUSE-Endkolben), sie sprechen maximal auf Temperaturen unter Körpertemperatur an, bilden Erregungen zwischen 10°C und 41°C [79/ 385]. Das Maximum der Impulsbildung liegt zwischen 15°C und 20°C [79/385].

Beide Arten von Rezeptoren zeigen eine Zunahme ihrer Aktivität bei Temperaturänderungen. Bei einer Temperatur über 45°C erlischt die Aktivität der Wärmerezeptoren, während die Kälterezeptoren erneut Generatorpotentiale zu bilden beginnen. Man spricht dann von "paradoxe Kälteempfindung" [59] (s. Abb. 18). Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß die Kaltrezeptoren weiter außen (Schutzfunktion!), die Warmrezeptoren tiefer in

der Haut liegen. STÜTTGEN [175/160] und HENSEL [81/165] geben die durchschnittliche Verteilungszahl der Kaltrezeptoren mit $15/\text{mm}^2$ in einer Hauttiefe von 0.15 ± 0.1 mm an, die der Warmrezeptoren mit $1/\text{mm}^2$ in 0.6 ± 0.2 mm Tiefe.

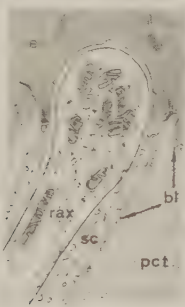


Abb. 17

Schematische Darstellung eines Kaltrezeptors der Nase einer Katze. (Rezeptor Axon: rax; SCHWANNsche Scheide: sc; Epidermis: e; Lamina basalis: bl; Bindegewebe: pct) aus [82]

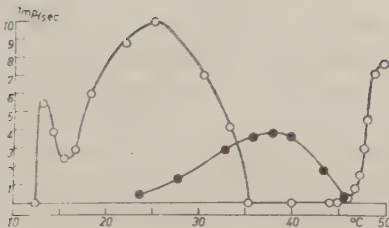


Abb. 18

Impulsfrequenz im stationären Zustand (Ordinate) als Funktion der Temperatur am Rezeptor (Abszisse).
○ = Kaltfaser,
● = Warmfaser.

Beachte: paradoxe Entladung der Kaltfaser bei Temperaturen über 45°C (Einzelfaserableitung vom N. lingualis der Katze, thermische Reizung der Zunge).

Beim Menschen unbekannt, wohl ähnlich. (Nach ZOTTERMANN [197]).

Der adäquate Reiz für die Thermorezeptoren ist stets die Temperaturdifferenz, oder wie HENSEL [78] sagt: "die Impulsfrequenz der Fasern ist eine Funktion der am Rezeptor herrschenden Temperatur (Impulse sind ableitbar von den afferenten Nervenfasern)".

Die Temperaturinformationen werden durch dünne (2 - 5 μ) [62/100] myelinisierte Fasern (A δ) nach ERLANGER und GASSER [53] bei einer Leitungsgeschwindigkeit von 12 - 30 m/sec. [62/39] vermittelt. Ihre Impulse gelangen über den Tractus spinothalamicus lateralis und die Thalamus-Strahlung zur hinteren Zentralwindung [172/425].

Da die Sinnesorgane (Rezeptoren) subepithelial gelagert sind, so bestimmt die Temperatur des subkutanen Gewebes ihre Reizantwort. Integrierendes Zentrum für Antwort auf Wärme liegt im vorderen Hypothalamus, speziell in der area praeoptica [51], deren dichtes Kapillarnetz für einen guten Wärmeaustausch verantwortlich ist [68] und wird als Kühlzentrum bezeichnet. Es ist durch feed-back-Schaltung mit dem Erwärmungszentrum verbunden. In diesem, im hinteren Hypothalamus, im tuber cinereum gelegen, werden Steuerungen angenommen, die zu einer Gegenregulation gegen Kälte führen. Es erhält seine Impulse von den Hautrezeptoren, die auf Kälte ansprechen.

Die Gesamtheit dieser afferenten Impulse bezeichnet man als thermosensiblen Tonus, wobei die Verteilung der Kaltfasern und Warmfasern keineswegs gleich ist (s. Abb. 19).

Kaltfasern liegen rund zehnmal so dicht wie die Warmfasern, haben eine zwei- bis dreimal so hohe Impulsfrequenz, sind jedoch ca. zwanzig- bis dreißigmal kleiner.

Die Verteilung der Warm- und Kaltrezeptoren auf der Körperoberfläche, - die Extremitätenhaut besitzt nur etwa die Hälfte der Rezeptoren der Rumpfhaut -, die größte

Dichte liegt im Trigeminiusbereich [12, 179] - deutet auf die Halbierung der Aufgaben im Temperaturregelkreis hin: Kernnahe Gebiete müssen als die entscheidenden peripheren Rezeptorenfelder wesentliche Temperaturänderungen verhindern, während die Extremitäten ihre Temperaturen in weiten Kreisen ändern können und damit die Funktion von Effektoren haben [8].

Nervöse Steuerimpulse



Kaltpunkte
je cm²
0 3
1 5
5 9
9 13
13 17

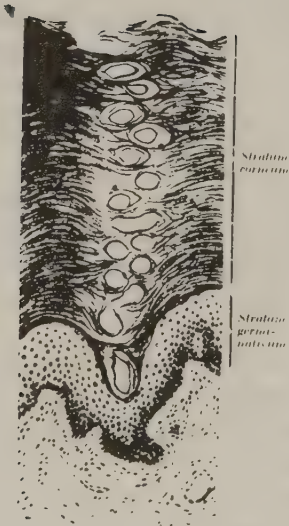
Abb. 19 Grobes Schema der Verteilung der Kaltpunkte auf der Körperoberfläche [8]

2.2.3. Transpiration

In der Haut, oft bis in die Subcutis hinabreichend, liegen die Schweiß- und Duftdrüsen. Auf Grund der Gestalt ihres Drüsenendstückes und der Epithelschläuche, die im oberen Teil korkenzieherartig gewunden, im mittleren Teil leicht gewunden und im unteren Teil geknäuelte sind, faßt man sie unter dem Begriff tubulöse Knäueidrüsen zusammen.

Abb. 20

Intraepidermaler, korkenzieherartig gewundener Abschnitt des Ausführungsganges einer ekkrinen Schweißdrüse des Menschen (Hämatoxylin-Eosin-Färbung, Vergrößerung etwa 60fach).



Ihre Hauptvertreter sind die Schweißdrüsen, die in der ganzen Körperhaut, besonders gut sichtbar auf den *cristae superiores* der Fingerkuppen liegen, bezüglich ihrer Zahl jedoch nicht gleichmäßig verteilt sind. Das sezernierende Epithel des Drüsenkörpers ist einschichtig kubisch bis zylindrisch, das Epithel des Ausführungsganges besteht aus zwei Lagen kubischer Zellen. Der Ausführungsgang ist im Bereich der Epidermis stark korkenzieherartig [55/28] (siehe Abb. 20) gewunden, wodurch seine Oberfläche stark vergrößert wird. In diesem Abschnitt erfolgt die Anreicherung mit Wasserstoffionen, die dann im Schweiß vorhanden sind. Im Stadium der Sekretion ist das Sekret alkalisch (pH 7,4), im Stadium der Sudoration (Kontakt mit der Haut) sauer bei einem pH von 5,5 - 4,5 [118]. Die Schweißdrüsen sind ekkrine cholinerge Drüsen, d. h. bei der Sekretion bleibt die Drüsenzelle ganz erhalten, da sie kein Plasma abgibt,

im Gegensatz zu den apokrinen und weitaus weniger verbreiteten Duftdrüsen, mit dem Charakteristikum der weiten Lumina (bis 80 μ m Porusdurchmesser) und verschiedenen hoher Epithelien (Stadien der apokrinen Sekretion) [114/277]. Das Sekret der apokrinen Drüsen ist eiweißhaltiger und klebriger als das der ekkrinen Drüsen.

Bezüglich der Größe der Schweißdrüsen kann nach FIEDLER [55/36] unterschieden werden: Die Größe der Glomerula schwankt zwischen 0,008 bis 0,04 mm^3 und wird im Mittel mit 0,015 mm^3 angegeben.

Die Größe an der Stirn beträgt	0,018 mm^3
am Stamm	0,017 mm^3
an den Extremitäten	0,013 mm^3
am Handteller und der Fußsohle	0,012 mm^3 .

Kuno [109/249] gibt folgende Porusdurchmesser an:

Handteller	15 - 16 μ
Fußsohlen	16 - 80 μ
übrige Körperoberfläche	14 - 70 μ

Japanische Untersuchungen gaben für einen Porusdurchmesser durchschnittlich 52 - 62 μ , für einen Schweißdrüsengang eine durchschnittliche Länge von 2,3 mm an [55/36].

Mit Hilfe dieser ekkrinen Schweißdrüsen kann der Organismus in großem Umfange seine Wärmeabgabe regulieren ($\sim$ 0,6 kcal/ml bei Verdunstung).

Dies geschieht unabhängig von einem Temperaturgefälle z. B. zwischen Haut- bzw. Blut- und Umgebungstemperatur, und demnach auch bei Umgebungstemperaturen, die über denen des Blutstromes liegen, durch die Sekretion

dieser Drüsen.

Der Mensch besitzt zwischen 10 und 15 Millionen Schweißdrüsen. Nach KUNO [108] ist nur ein Teil, nämlich 2 bis 3 Millionen aktivierbar. Je nachdem, in welchem Maße die Schweißsekretion einsetzen muß, werden zunächst die Drüsen bis zu einem bestimmten Maximum aktiviert. Dann ist nur noch eine erhöhte Sekretion durch die Einzelleistung der Drüsen möglich.

Wenn die Schweißabgabe wegen hoher Außentemperaturen extrem hoch ist, erreichen die Schweißdrüsen die Grenze der Leistungsfähigkeit, die Gesamtschweißabgabe sinkt nach 2 - 3 Stunden schnell ab und man spricht von Hydromiosis [110]. Die Schweißdrüsen verteilen sich auf dem Körper folgendermaßen:

Nach KOIBUCHI [102] (Anzahl/cm ²)		nach SZABO [177] (Anzahl/cm ²)
Stirn	505	360
Brust	235	175
Abdomen	240	190
Rücken	295	160
Oberarm		
Beugeseite	640	
Streckseite	625	150
Unterarm		
Beugeseite	640	
Streckseite	600	225
Oberschenkel		
medial	460	
lateral	730	120
Unterschenkel		
Beugeseite	540	
Streckseite	505	150

Ähnliche Werte wie SZABO [177] fand auch KRAUSE [106, 107]. Die Gesamtzahl der Schweißdrüsen gibt SZABO [177] für den Kopf mit $355 \cdot 10^3$
den Stamm mit $1065 \cdot 10^3$
die Arme mit $595 \cdot 10^3$
die Beine mit $880 \cdot 10^3$ an.

RANDALL [148] ermittelte die Zahlen der aktiven Schweißdrüsen pro cm^2 nach vorangegangener Hitze oder durch Beeinflussung von Pharmaka und kam zu folgenden Werten:

Handrücken	$260 - 480/\text{cm}^2$
Unterarm Extensorseite	$180 - 252/\text{cm}^2$
Oberarm	$180 - 252/\text{cm}^2$
Stirn	$122 - 212/\text{cm}^2$
Stamm, Brust	$93 - 130/\text{cm}^2$
Jochbogen	$1 - 65/\text{cm}^2$
Wange	$6 - 34/\text{cm}^2$.

Die zum Teil unterschiedlichen Werte sind auf verschiedene Aktivierungs- bzw. Anfärbungsmethoden zurückzuführen. Im vorliegenden Fall wurden die Schweißdrüsen nach der Bromphenol-Methode [28, 155] dargestellt (s. Abb. 34). Schließlich bestehen noch bezüglich der Zahl und Größe der Schweißdrüsen nach russischen Gesichtspunkten erhebliche Unterschiede.

Nach DÄUELER [35] haben Eingeborene des tropischen Afrikas wesentlich größere Schweißdrüsen als Europäer.

Auch für die Ausbildung des Schwitzapparates spielen genetische wie Umweltfaktoren eine Rolle. So fand THOMSON [182] im tropischen Afrika gleiche Schweißdrüsenzahlen bei eingeborenen Negern und den Kindern eingewanderter Kaukasier, die in ihrem nördlichen Heimatland an sich weniger aktivierbare Schweißdrüsen aufweisen. Tropisches Klima scheint eine frühe Aktivierung

der Schweißdrüsen zu beeinflussen.

Nach FIEDLER [55/140] können vier Arten von ekkriner Schweißabgabe unterschieden werden: thermoregulatorisches, emotionelles, mentales und gustatorisches Schwitzen. Diese Arten sind jedoch nicht immer eindeutig voneinander zu trennen.

Auf die extraglanduläre Wasserabgabe (perspiratio insensibilis) wurde schon hingewiesen. Die merkliche glanduläre Wasserabgabe und Verdunstung beträgt bei 21°C Umgebungstemperatur ca. 27 % der Gesamtwärmeabgabe beim ruhenden Menschen [62/222].

Die Anteile der Wärmeabgabeformen ändern sich demnach mit der Umgebungstemperatur. Bei Annäherung dieser an die Körpertemperatur verliert die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung, die bei 21°C Umgebungstemperatur noch 70 % betrug, die Abgabe durch Verdunstung gewinnt zunehmend an Bedeutung. Für den bekleideten untätigen Menschen setzt die Schweißproduktion nach LUDWIG [120/15] bei 29°C Umgebungstemperatur, für den Unbekleideten bei 31°C ein.

Wächst die Wärmebelastung an, so steigen die Schweißmengen am Rumpf stärker als in allen übrigen Hautarealen. Bei Sekretion großer Schweißmengen gehen Nierendurchblutung wie Harnproduktion zurück. Dieser Einfluß der Schweißproduktion auf Wasser- und Elektrolythaushalt kann unter anderem therapeutisch, z. B. bei einzelnen Formen renaler Oligo-Anurie durch Flüssigkeitsrestriktion, dadurch, daß man die Körpertemperatur auf über 38°C erhöht, ausgenutzt werden [181/203].

Nach BENZINGER [22] hängt die Schwitzrate linear von der Trommelfelltemperatur, die er der zentralen Temperatur gleichsetzte, ab (s. Abb. 21).

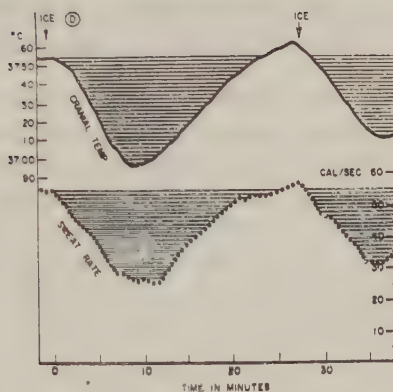


Abb. 21 Gleichsinniges Verhalten von Kranieltemperatur und Schwitzrate, nach BENZINGER [22]

BENZINGER [20] konnte jedoch keine Beziehung zwischen Hauttemperatur und Rektaltemperatur einerseits und der Schwitzrate andererseits feststellen.

Messungen von WYNDHAM [193] zeigten, daß bei gleicher mittlerer Hauttemperatur die Schwitzrate desto höher ist, je höher die Kerntemperatur ist. Dieses Verhalten beschreibt ASCHOFF [6/85] damit, daß einmal das Ansprechen zentral nervöser Schaltstellen für den peripheren Reiz mit steigender Kerntemperatur anwächst, zum anderen, daß die afferenten Fasern von den thermosensiblen Rezeptoren "multiplikativ" miteinander verrechnet werden.

Andere Untersuchungen zeigten, daß bei Belastung die Schweißmenge schon nach kurzer Latenz - nach LLOYD [119] erfolgt die Antwort im allgemeinen mit einer Latenz von 2,5 bis 3 Sekunden auf einen Reiz - ansteigt.

Hauttemperatur, Rektaltemperatur und Trommelfelltemperatur folgten erst mit größerer Verzögerung.

Für das Ingangsetzen werden verschiedene Einflüsse diskutiert, so die bei Muskularbeit lokal entstehende Wärme: NIELSEN [136] konnte beobachten, daß der arbeitende Mensch in kühler Umgebung nach 5 bis 10 Minuten zu schwitzen beginnt, noch ehe die Haut- und Rektaltemperatur sich verändern, was bedeutet, daß neben der Hauttemperatur die Muskularbeit die Schweißdrüsentätigkeit direkt beeinflusst. Weiterhin kann in Erwägung gezogen werden, daß Mechanorezeptoren in Muskeln und Gelenken die Schweißdrüsen direkt innervieren, und daß Kollateralen von absteigenden, die Drüsen versorgenden motorischen Fasern vorhanden sind, Faktoren, welche auch für die Auslösung der Schweißsekretion verantwortlich sein könnten [nach BEAUMONT 186].

2.3. Mikroklima um den Fuß

2.3.1. Thermoregulatorische Sonderstellung der Füße

Obwohl die Füße (Anteil bis zum oberen Sprunggelenk) zusammen nur etwa 7 % der gesamten Körperoberfläche und ca. 3 % des Körpergewichtes ausmachen [75], haben sich viele Autoren mit dem "Funktionssystem" Fuß - Strumpf - Schuh beschäftigt. THAUER [178] weist darauf hin, daß die Extremitätenenden bei normaler Temperaturtopographie, bei der die Behaglichkeitszone bei ca. 32 - 34° C mittlerer Hauttemperatur liegt, eine Sonderstellung einnehmen.

Welche Bedeutung dem System Fuß - Strumpf - Schuh zukommt, sei hier kurz angedeutet.

Die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit eines im Arbeitsprozeß stehenden Menschen hängt von seinem augenblicklichen Wohlbefinden ab. Dieses wird stark durch die Temperatur beeinflusst und kann zum Teil davon abhängig sein. Hinzu kommt die Tatsache, daß die Extremitäten und damit auch der Fuß die Effektoren (niedrige Temperaturen, in denen nach WETZLER [189] die Wärmeabgabe eines erheblichen Teiles der übrigen Körperoberfläche mit zum Ausdruck kommt) der Thermoregulation sind..Daraus wird deutlich, welche Aufgabe einer physiologisch richtigen Fußbekleidung zukommt.

Im Rahmen der Temperaturregulierung ist das Mikroklima um den Fuß ein wesentlicher Faktor. Dieses ist - wie in allen anderen Körperbereichen - von verschiedenen Faktoren abhängig, wie: Umgebungsklima, Belastung, vegetativer Zustand, hormonelle Lage, Temperatur und Feuchte der Haut, Diffusionszahl, Wärmeleitzahl, Wärmeübergangszahlen etc..

Die Wärmeabgabe des Fußes erfolgt durch Konduktion (25 %) und Strahlung (40 %). Die restlichen 35 % liefert verdunstendes Wasser, das den Gesetzen der Diffusion folgt.

Die Abgabe der Feuchte durch die Haut geschieht auf zwei Wegen:

1. Diffusion (0.75 - 2.00 ml/Fuß · h)
2. Schweißsekretion aus entsprechenden Drüsen.

Die Füße besitzen sehr viele Drüsen, Untersuchungen von DIEBSCHLAG und MÜLLER-LIMMROTH [43] ergaben nach maximaler Stimulierung der Schweißdrüsen am Fuß folgende

Zahlen:

Fußsohle 207 ± 58 ekkrine Drüsen/cm²,
Fußrücken 185 ± 40 /cm².

Eine Besonderheit ist, daß die Drüsen an den Fußsohlen stärker auf emotioneller Basis sezernieren, während Rist und Restfuß überwiegend thermoregulatorisch eingesetzt werden [44].

Im allgemeinen ist die Schweißrate umso höher, je höher die Hauttemperatur bei gleicher Körperkerntemperatur ist. Steigt nun die Kerntemperatur, so nimmt die Schweißrate stärker zu. PANZRAM [144] weist darauf hin, daß etwa $33 \pm 1^{\circ}$ C die optimale Hauttemperatur im Bereich des Körperkerns ist. Abb. 22 zeigt, daß in diesem Temperaturbereich die Adaptationszeit bis zum Erlöschen der Temperaturempfindung gegen Null geht, was heißt, daß hier der thermische Indifferenzbereich der Temperaturempfindung liegt.

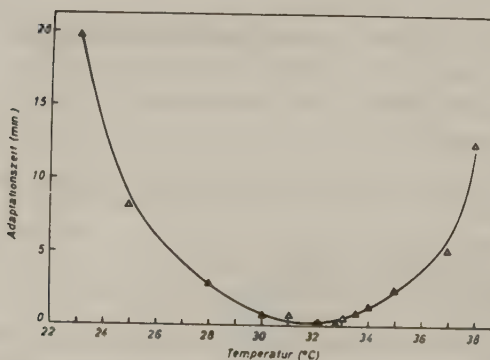


Abb. 22 Adaptationszeit bis zum Erlöschen der Temperaturempfindung als Funktion der Reiztemperatur, nach HENSEL [81/168]

Die Grenze für eine Schwüleempfindung liegt bei 14 mm Hg-Säule für den Wasserdampfpartialdruck in der Umgebung. Ähnliche Werte wurden von DIEBSCHLAG [39] gefunden. Allgemein werden nach RICHTER [151/54] Fußhauttemperaturen zwischen 30 - 35° C und relative Feuchten von bis zu 65 % als angenehm bezeichnet. Bei höheren Luftfeuchten tritt Schwüle auf [151].

Nach LEHMANN [113] ergibt sich für die Fußsohle bei 20 - 30° C eine Schweißrate von etwa 3 - 5 mg/cm² · h bzw. 30 - 50 g/m² · h, bei einer Temperatur von 38° C bereits 30 mg/cm² · h bzw. 300 g/m² · h; für den Fußrücken ergaben sich bei 26 - 27° C Werte von ca. 3.5 mg/cm² · h (35 g/m² · h), bei einer Temperatur von 40° C stieg die Schweißrate auf 35 - 40 mg/cm² · h (35 - 40 g/m² · h).

MÜLLER-LIMMROTH und DIEBSCHLAG [132] zeigten, daß in Einzelfällen bei Tretbahngehen mit 5 km/h eine Menge von bis zu 35 mg/cm² · h am Fuß ausgeschwitzt werden kann, was einer Menge von 12.25 ml/Fuß · h entspricht. Bei BROOKS und MITTON [25] ergaben sich im Trageversuch 11 mg/cm² · h (110 g/m² · h). WOODCOCK [195] ermittelte an Soldaten im Trageversuch unter besonderem körperlichen Einsatz Werte von 44 ml/2 Stunden · Fuß.

Als durchschnittliche Produktionsrate einer Schweißdrüse gelten vorerst 3 µg/Drüse · min.. Nach Untersuchungen von DIEBSCHLAG [45] kann die Zahl der rekrutierenden Schweißdrüsen am Fuß unter entsprechenden Belastungen (Hitze, körperliche Belastung) einen Wert von 174 ± 46 erreichen. Unter Berücksichtigung, daß im Verlauf eines 12-Stunden-Tages bei ruhiger Tätigkeit bis zu 75 Schweißdrüsen/cm² · Fuß laufend sezernieren können, errechnet sich für einen Fuß (entsprechend Schuhgröße 42) mit einer Fläche von 500 cm² bis zum oberen Rand eines Halbschuhes eine Gesamtfeuchteabgabe (insensible und sensible) von 71 ml/Fuß · Tag, worin der Anteil der Diffusion mit = 17 ml/Fuß · Tag enthalten ist. Identische

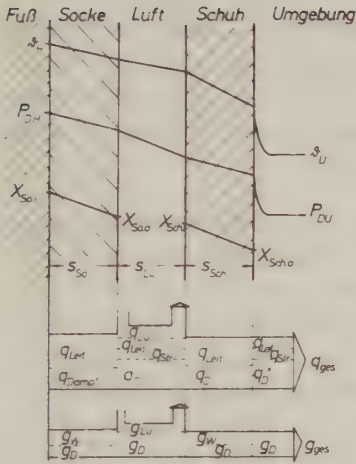
Werte zeigten auch BROOKS und MITTON [25] auf. Da der Sekretionsvorgang der Schweißdrüsen mit weniger als 5 sec. Latenz [119] vor sich geht, der Transport- und Verdunstungsvorgang durch den Schuh aber i. a. länger dauert, bedarf es eines Zwischenspeichers (Puffersystem), um die Fußhaut vor stärkerer Benetzung und rückwirkender Durchfeuchtung des stratum corneum zu bewahren. Diese Pufferfunktion kann einerseits eine Socke übernehmen (besonders Baumwolle, die Schweiß flüssig aufnehmen kann), deren Feuchtigkeit aber dann ansteigt, so daß eine unerwünschte Rückfeuchtung der Haut auftreten kann. Zum anderen bietet sich im Futter- und Schaftmaterial des Schuhs eine weitere Möglichkeit der vorübergehenden Feuchtespeicherung.

Auftretende Feuchtigkeitsmengen müssen verdampfen, um eine Kühlung zu bewirken und daher in Dampfform durch die Socken, die Luftschicht zwischen Socke und Schuh durch das Schuhfutter und das Schuhobermaterial abtransportiert werden (s. Abb. 23, 24).

Dem Schweiß muß durch die Socke und den Schuh die Möglichkeit zur Verdampfung gegeben werden, d. h. er muß zunächst, um thermoregulatorisch wirksam zu sein, verdunsten können, um dem Fuß Wärme zu entziehen und schließlich als Wasserdampf abgeführt werden und in dieser Form von Socke und/oder Schuh aufgenommen werden. Es darf jedoch nicht zu einem Rückstau kommen dadurch, daß bereits verdampfter Schweiß bei Unterschreiten gewisser Temperaturen wieder kondensiert (Taupunkt). Haben die den Fuß umgebenden Materialien diese Eigenschaft der Wasserdampfaufnahme nicht, so wird der Großteil des Schweißes zwar als flüssiges Wasser aufgenommen, damit aber die eigentliche Aufgabe des Schweißes, Kälte zu erzeugen, Wärme abzuleiten und somit die Fuß- und evtl. Körpertemperatur zu normalisieren, vernachlässigt.

Abb. 23

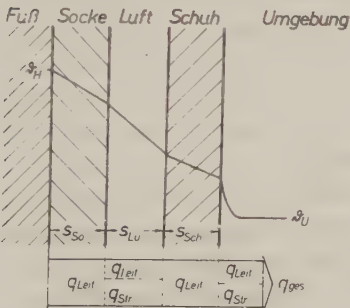
Schematische Darstellung des Wärme- und Feuchtedurchgangs mit den zugehörigen Gradienten bei einer üblichen Fußbekleidung, aus [46]



Die Abb. 23 zeigt den gesamten Wärme- und Stoffaustausch beim Fuß-Schuh-Modell, wobei gilt: Wärmestrom (q), Leitungswärme (q_{Leit}), Strahlungswärme (q_{Str}), Dampfwärme (q_D), Luftwärme (q_{Lu}), Feuchtestrom (g), Feuchtestrom flüssig (g_W), Feuchtestrom dampfförmig (g_D), dampfförmiger Strom im überlagerten Luftstrom (g_{Lu}), Temperaturdifferenz Haut-Umgebung ($s_H - s_U$), Dampfdruckgefälle Haut-Umgebung ($P_{DH} - P_{DU}$), Schichtdicke (s)

Abb. 24

Schematische Darstellung des Temperaturverlaufes und des Wärmestromes für den trockenen Wärmeübergang bei einer üblichen Fußbekleidung; aus [46] (s. dazu auch Abb. 23)



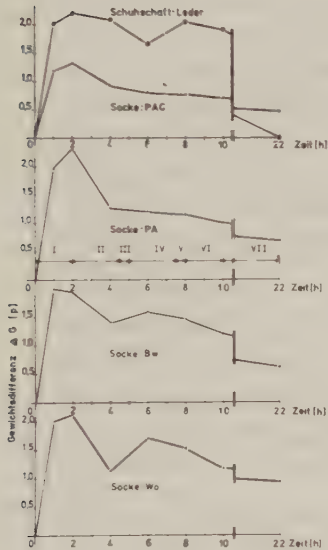
Obwohl in oben genannten Fällen der Schweiß zwar entfernt wird, so bestehen doch die wesentlichen und die Funktion des Schweißes beeinträchtigenden Unterschiede darin, daß nur verdunsteter Schweiß (Wasserdampf) 576 kcal/kg als Verdampfungswärme abführen kann. Wasserdampf vermag 16mal mehr Wärme zu entfernen als flüssiges Wasser.

Zur vollständigen Verdunstung der im Alltag üblichen anfallenden Schweißmengen von bis zu 70 ml/Fuß Tag sind 3.5 kcal/h·Fuß nötig. Unter Annahme eines alltagsüblichen Wärmestromes von 63 kcal/m²·h für den gesamten Organismus [FRANK 58] errechnet sich ein Wärmestrom von ca. 3 kcal/h · Fuß. Ein Teil dieser Wärme wird selbstverständlich bei entsprechender Fußbekleidung durch Strahlung und Leitung abgegeben. Der verbleibende Rest, der durch oben genannte Mechanismen nicht mehr abgegeben werden kann, steht für die Verdunstung der bereits errechneten Schweißmenge zur Verfügung, was bedeutet, daß die Differenz zwischen sezernierter und verdunsteter Schweißfeuchte nicht abtransportiert werden kann und demnach in Socke und/oder Schuh gespeichert werden muß. Berücksichtigt man, daß die Schweißdrüsen im allgemeinen den 1,5- bis 2fachen Betrag an Sekret abgeben können, der zur Kompensation eines thermoregulatorischen Ungleichgewichtes notwendig ist, so müßten die Socke und/oder der Schuh täglich etwa 18 ml speichern, den Rest als Wasserdampf abgeben. Nach Untersuchungen von DIEBSCHLAG [48] besitzen weder Socke noch Schuh im physiologischen Klimabereich die Fähigkeit, Wasserdampf in dieser Größenordnung zu speichern. Nach DIEBSCHLAG [48] kann die Socke maximal 2 - 3 ml/die, ein Schuh 2 - 5 ml/die Flüssigkeit aufnehmen, wie aus Abb. 25 hervorgeht. Zudem verweisen MÜLLER-LIMMROTH und DIEBSCHLAG [133/24] darauf, daß zwischen aus Natur-, Synthese- oder Mischfaser bestehenden Socken bezüglich des Mikroklimas keine nachweisbaren Unterschiede bestehen, jedoch keines der Sockenmaterialien die ungenügende Wasser- und Wasserdampfdiffu-

sion eines synthetischen Schumaterials kompensieren kann.

Abb. 25

Gewichtsveränderungen eines Halbschuhes mit Synthetikboden und Rindbox (mit Baumwollfutter) sowie von 4 Sockenmaterialien (kurz) während eines Tages; aus [47]



Unter diesem Gesichtspunkt kommt einem saugfähigen und trotzdem wasserdampfdurchlässigen Schuhfuttermaterial besondere Bedeutung zu, da zunehmend eine Vielzahl synthetischer Oberbauprodukte verarbeitet wird, deren Wasserdampfaufnahmevermögen geringer ist, als bei einem mittleren oder guten Leder (s. Tab. 4).

Tab. 4

Verhalten von Schuhobermaterialien gegenüber Wasserdampf
im Vergleich zur Hautwasserabgabe eines Fußes (ca. 3,5 %
der Körperoberfläche) aus [49]

Wasserdampfdurchlässigkeit	
von unbesch. Oberleder	10 - 40 g/m ² ·h
Schuh-Synthetiks	0 - 10 g/m ² ·h
Wasserdampfaufnahme	
von: unbesch. Oberleder	25 - 30 g/m ² ·h
Schuh-Synthetiks	- 6 g/m ² ·h
Hautwasserabgabe des Menschen	
insensibel	5 - 10 g/m ² ·h
sensibel (je nach Klima und Arbeit)	
im Sitzen	- 50 g/m ² ·h
im Gehen	- 110 g/m ² ·h
Hautwasserabgabe eines Fußes mit	
ca. 0,05 m ² Oberfläche pro 12 Stunden	
insensibel	- 10 g/12 h
sensibel (8 h)	- 20 g/ 8 h
im Gehen (4 h)	- 22 g/ 4 h
gesamt:	- 52 g/12 h

2.3.2. Mykosen speziell am Fuß

Mykosen sind durch Pilze hervorgerufene Infektionskrankheiten. Im vorliegenden Fall soll nur auf die Dermatomykosen eingegangen werden. Der Ausdruck Dermatomykosen ist ein Sammelbegriff für alle das Integument betreffenden Mykoseformen. Da die hervorgerufenen Krankheitsbilder klinisch alle gleich aussehen, wird der Begriff "Tinea" verwendet. Sie zeichnet sich nach GÖTZ [67/17] durch den ekzemartigen Charakter der Läsion aus. Symptome sind chronische Entzündung und Bevorzugung intertriginöser Kontaktstellen auf Grund des dort erhöhten pH [85/3].

"Prädeliktionsort im Fußbereich ist der vierte Interdigitalraum, der dann mazeriert und gerötet ist. Diese Entzündung ist begleitet von Juckreiz, Schuppung, Quellung der Hornschicht, Bläschen, Nässen. Ein Übergreifen zunächst auf benachbarte Stellen, dann auf das gesamte Integument ist jederzeit möglich" [Götz 67/17].

Fußmykosen nehmen bezüglich ihrer Ausbreitung immer mehr zu. Die Zahl der an Fußpilz erkrankten Bevölkerung beträgt nach verschiedenen Autoren [71, 138, 147, 176] im Mittel 50 - 60 %. An noch höhere Befallszahlen (85 % der Arbeiter), die in früheren Jahren u. a. von MEMMESHEIMER [124, 125] und WILDE [191, 192] gefunden wurden, sei erinnert. Auch spielen nach OTTO und Mitarbeiter [142, 143] jahreszeitliche Schwankungen, nach POLEMANN [147] Alter und Geschlecht eine Rolle hinsichtlich der Mykosebefallszahlen. GÖTZ und ELSNER [66, 67] verweisen auf einen beachtlichen Unterschied an Mykoseerkrankungen zwischen Vor- und Nachkriegsjahren.

Tabelle 5 nach HANSEN [74] gibt einen Überblick über die Verbreitung von Fußmykosen in verschiedenen Berufszweigen.

Tab. 5

Übersicht über die Verbreitung der Fußmykosen [nach HANSEN 74]

Untersuchter Personenkreis	Anzahl der Untersuchten	von Fußmykosen befallen (in %)	Autoren	Jahr der Untersuchung
Bergarbeiter	10092	70	WILDE	1952 - 1954
Soldaten		41		
Badeangestellte		20,6	AMREIN	1953
Schwimmlehrer		70		
Bergarbeiter	1000	75,5	ESPELA- GE	1954
Industriear- beiter	2110	75,7	SCHIRREN	1954 - 1955
		81,5	RIETH PINGEL	
		66,2	HANSEN	
Eisengieße- reiarbeiter	80	75,5	AICHIN- GER	1955
Industriear- beiter	222	59,4	ZWEILING	1955
Turner	155	24,5	TRITS- MANN	
Schwimmer	185	45	VANBREU- SEGHEM	2955

Nach SCHLEVOGT [159] treten Mykosen besonders dort auf, wo die Haut feucht ist und wo Haut eng an Haut liegt, infolgedessen der Schweiß nicht abdunsten kann. An diesen Stellen ist auch die physiologische Abschilferung der Haut verlangsamt, was eine Folge der dauernden Feuchtigkeit ist. In diesen Bezirken der behinderten und damit verminderten Schweißverdunstung, also den intertriginösen Bezirken (Nabel, unter den Brüsten, Interdigitalräume) liegen die pH-Werte in der Regel über denjenigen der anderen Regionen der Hautoberfläche.

Der pH in den meisten Hautgebieten liegt im leicht sauren Bereich und es kommt ihm damit eine gewisse Schutzwirkung zu (Schutz des stratum corneum gegen Mazeration und Alkali [170]); in den intertriginösen Lokalisationen jedoch, wo Feuchtigkeit, Quellung und Mazeration der äußeren Hornschicht zu verstärkter mikrobieller Aktivität und dadurch nach SPIER und PASCHER [170] zu vermehrter Hydrolyse von Polypeptiden, von Citrullin u. a. und dabei auch zur Freisetzung und Anreicherung von Ammoniak führen, resultiert ein erhöhter pH, der zu Mykosen disponiert. Dies konnte auch in einer Ostberliner Untersuchung [139] gezeigt werden, wonach ein eindeutiger Zusammenhang zwischen pH und Mykosebereitschaft deutlich wurde.

Bei GÖTZ und ELSNER [66] spielt auch die individuelle Disposition eine bestimmte Rolle, die das Infektionsgeschehen sehr stark fördern kann. Unabhängig von der individuellen Lage sind die Ursachen für Mykoseerkrankungen in ungenügender Hygiene, sowie in der Fußbekleidung zu suchen. Auf Grund des industriellen Fortschrittes und der damit verbundenen Herstellung synthetischer Schuh- und Sockenmaterialien, die wegen ungenügender Wasserdampfpermeabilität oftmals zu unphysiologisch hoher Luftfeuchte im Schuh führen (relative Feuchte zwischen 70 und 100 %; der physiologische Grenzwert für Behaglichkeit liegt bei 65 - 70 % r. F. [151/54]), ist kaum eine Verminderung der Durchseuchung der Bevölkerung zu erwarten [138]. Durch die erhöhte Feuchte ist die Epidermis aufgelockert, die Pilzsporen, die auf die Epidermis gelangen, keimen aus und wachsen in die Haut ein. Infektion ist die Folge.

Verschiedene Autoren [26, 92, 93, 94, 98] verweisen darauf, daß Socken als Infektionsträger eine große Rolle spielen, da Pilze auf allen Faserarten von Socken gedeihen und nachgewiesen werden können. Nur POLEMANN [147] sagt, daß Pilzsporen an Perlon und Nylon nicht haften. Nach FRIESER [60] tritt die geringe Saugfähigkeit der Chemiefaserstoffe besonders dann nachteilig in Erscheinung, wenn die Verdunstungsfläche des Fußes durch einen wenig wasserdampfpermeablen Schuh abgedeckt wird. Für die Unterschiede im Wasserrückhaltevermögen in Abhängigkeit vom Strumpfmaterial gibt SCHNEIDER [161] folgende Werte an:

Für Kräuselkrepstrümpfe aus:

Polyamidfaserstoffen	etwa 8 %
Baumwollstrümpfe	etwa 25 %
Wollstrümpfe	etwa 38 %

Die Feuchtigkeitsaufnahme bei 65 % r. F. und 20° C beträgt bei Polyamid und anderen synthetischen Faserstoffen maximal 5 %, bei Baumwolle 8,5 %, bei Wolle 17 - 18 %. GÖTZ [66] und SCHÖFELD [162] verweisen darauf, daß Patienten mit schon bestehender Fußmykose keine Strümpfe und Socken aus Chemiefaser tragen sollten.

Da nun die Chemiefasern in den Socken und ebenso die Verwendung synthetischer Schuhmaterialien vor allem die Hautfeuchte wesentlich beeinflussen, ist die Verwendung synthetischer Materialien als begünstigender Faktor für Mykoseerkrankungen anzusehen. Daher wachsen botanische und medizinische Mykologie zwangsläufig aufeinander zu.

Als physiologische Hautflora gibt MÜLHENS [130] folgende Bakterienarten an und unterscheidet zwischen Haft- (resident) und Anflugskeimen (transient):

Haftkeime: *Staphylococcus albus*, *St. epidermidis*, *St. citreus*, *St. flavus*, anaerobe und aerobe *Corynebakterien*. An feuchten Stellen, wie Achsel, Schritt und Zehe findet man gramnegative Keime wie: *Pseudomonas*, *Alkaligenes*, *Proteus*, *Herellea vaginicola*, *Mima polymorpha*.

Anflugskeime:

<i>Staphylococcus aureus</i>	(5 - 40 %)
<i>Streptococcus pyogenes</i>	(5 - 8 %)
<i>Escherichia coli</i>	(6 %)
<i>Klebsiella aerobacter</i>	(44 %)
<i>Proteus</i>	(10 %)
<i>Alkaligenes faecalis</i>	(32 %)
<i>Mima polymorpha</i>	(9 %)
<i>Herellea vaginicola</i>	(10 - 20 %)
<i>Corynebakterien</i>	(92 %)

In einer Untersuchung an Jugendlichen waren diese Arten von Anflugskeimen in einer bestimmten Anzahl (s. die Zahlen in der Klammer) der Fälle pathogen.

DACHTLER [34/58] gibt daneben noch folgende Arten an: *Micrococcus epidermidis*, *Micrococcus candidus*, *Sarcina flava*, *Bacillus subtilis* und *Bacillus mesentericus*.

Das Wachstum der auf der Haut isolierten Mikroorganismen hängt von Feuchtigkeit, Temperatur und pH-Wert ab. Bakterien benötigen zum Leben eine r. F. von mindestens 30 % und eine Temperatur zwischen 20 und 36° C [34/26]. Das Hautklima des normal gekleideten Menschen entspricht diesen Bedingungen. Relative Feuchten über dem physiologi-

schen Grenzwert (65 % r. F.) und Temperaturen zwischen 25° C und 37° C fördern das Wachstum der Mikroorganismen. DACHTLER [34/28] zeigte im einzelnen, daß mit zunehmender Feuchtigkeit die Lebensbedingungen der Kokken günstiger, für Sarcinen und stäbchenförmige Arten ungünstiger werden, daß Hefen ein mehr saures Milieu bevorzugen, während sich Kokken und Sarcinen bei höherem pH besser entwickeln.

Das Lebensoptimum der Dermatophyten liegt unter 30° C und bei einem pH von 5,5 - 6,2, womit ihre Lebensbedingungen im Bereich des stratum corneum am günstigsten sein dürften [141/33]. Für die Medizin von praktischem Wert ist die Einteilung nach klinischen Erregergruppen. Im sog. D-H-S-System nach RIETH [153] unterscheidet man 3 Erregergruppen:

1. Dermatophyten,
 2. Hefen,
 3. Schimmelpilze und sonstige Pilze.
1. Zu den Dermatophyten zählen die Gattungen Microsporon, Trichophyton, Epidermophyton. Diese Erreger sind streng organgebunden und befallen vornehmlich Haut, Haare, Nägel.

Zwischen Epidermophytie und Trichophytie zu unterscheiden, ist nach GREITHER [69/66] nur von bedingtem Wert, da sich bei der Epidermophytie das Wachstum nur selten auf das stratum corneum beschränkt und andererseits sind die Epidermophytonarten selten, meist sind es Trichophytonarten (Trichophyton rubrum, Mentagrophytes usw.).

Die Microsporie befällt vor allem den behaarten Kopf von Kindern im Schulalter.

2. Hefen: Im Gegensatz zu den Dermatophyten haben *Candida*-Pilze keine Ektoproteasen und sind daher nicht in der Lage, von sich aus invasiv zu wachsen. Für das Zustandekommen einer *Candida*-Infektion sind deshalb echte Hautläsionen bzw. durch andere schon vorhandene Keime entstandene Schäden Voraussetzung.

Die Hefen wie *Candida*, *Torulopsis*, *Rhodoporus* und *Trichosporon*-Arten befallen neben der Haut und ihren Anhangsgebilden auch Schleimhäute und innere Organe.

"Prädestinierender Faktor für die Entwicklung pathologischer Läsionen ist vor allem intensiver Kontakt mit Wasser, das eine Hautmazeration auslöst und das Haften der Hefen fördert" GÖTZ [67/29].

Bei entsprechender Bereitschaft des Organismus sind Systemmykosen, da *Candida*-Pilze bei 37° C wachsen, mit der Gefahr eines septischen Krankheitsbildes (*Candida*-Septikämie, Soor-Sepsis) möglich. Besonders Frühgeborene sind durch derartige Komplikationen (Befall des Gehirns, Endocards und der Niere) betroffen [4, 90, 122, 196].

Die Hefen haften bevorzugt im dritten Interdigitalraum der Hand [67/17] und wurde auf Grund ihrer Erscheinungen (entzündlich gerötete, juckende zum Teil brennende, leicht schuppige Erosion) früher "*Erosio interdigitalis blastomycetia*" heute nur noch "*Candidiasis interdigitalis*" genannt. Nach GÖTZ [67/17] muß an Soor gedacht werden, wenn neben dem geröteten schuppigen Hauptherd "kleine Satellitenpusteln" erscheinen. Häufigster Erreger der Soor-Mykose ist die Hefe *Candida albicans*. Begünstigt wird diese Mykose bei Diabetes mellitus, Vitamin-B-Mangel, Feuchtigkeit, Kachexie, Antibiotica und Gravidität. Letztere und die häufige *Candida*-besiedelung der Scheide sind wohl ausschlaggebend dafür, daß eine Infektion schon auf dem Geburtswege erfolgen kann. Über die Häufigkeit der Infektion unter der Geburt liegen unterschiedliche Ergebnisse vor [88, 160]. Neben den Belägen des Soors im Mund ist der ganze Magen-Darm-Trakt befallen.

Andere Hefemykosen sind nach GREITHER [69/69] in hiesigen Breitengraden von nur sehr untergeordneter Bedeutung.

3. Schimmelpilze u. a. Pilze können sowohl die äußere Haut, als auch Schleimhäute und innere Organe befallen.

Oberflächliche Mykosen sind durch Anwesenheit lebender Pilzelemente (Mycel, Pseudomycel, Sporen) in den Schichten der Epidermis, in den Haaren oder Nägeln charakterisiert. Die Infektion der Haut erfolgt von den äußeren Hautschichten nach innen z. B. durch keratinolytische Wirkungen des Pilzes durch dessen proteinspaltende Ektoenzyme. Kontamination mit bestimmten Pilzarten z. B. Microsporon führt in jedem Fall zu einer Infektion, während bei anderen Pilzarten nur bei bestehender Disposition eine Infektion erfolgt (große Bedeutung bei Candidosen). Die Infektion kann exogen wie endogen bedingt sein.

3. Trageversuche mit Testpersonen

3.1. Versuchsbedingungen

3.1.1. Der Untersuchungsgegenstand

Für die vorliegende Arbeit wurden 7 verschiedene Schuh- bzw. Futtermaterialien hinsichtlich ihres Einflusses auf das Mikroklima im Schuh untersucht.

Auf Grund ihrer physikalischen Eigenschaften (s. Tabellen 7 mit 11) konnte eine Einteilung in drei Gruppen vorgenommen werden:

1. Gruppe: Naturprodukte wie box-calf, Leder-Skiver, Leder-Leder.
2. Gruppe: Teilweise wasserdampfdurchlässige Synthetiks oder Poromerics wie Xylee.
3. Gruppe: Fast wasserdampfdichte Synthetiks oder sog. plain-products wie Ceef, Dypor, Roy Poreda.

Das Naturprodukt Leder besteht aus einem Verband von Kollagen und Elastinfasern. Die einzelnen Kollagenfasern oder Fibrillen, zwischen denen sich relativ große Hohlräume befinden, sind umhüllt von Gerbstoffen. In diese Hohlräume kann Wasser eindringen und wird von den Fasern selbst resorbiert und gebunden. Zudem kann Wasser nach außen abgeleitet werden. Versuche zeigten [84], daß ein Oberledermaterial nach 24 Stunden zwischen 239 und 300 mg/10 cm² Wasserdampf gespeichert hat, bei synthetischen Materialien lagen die Werte im Bereich von 20 - 53 mg/10 cm². HERFELD [83] weist noch darauf hin, daß oben genannten Zahlen nur bei gleichzeitiger Wasserdampfdurchlässigkeit gefunden wurden. Wurde die Wasserdampfdurchlässigkeit verhindert, so fand man erhöhte Werte für die Wasserdampfaufnahme (bei Leder 600 - 700 mg/10 cm²; auch bei den Synthetiks stiegen die Werte an, jedoch

haben sich die Differenzen zum Leder noch weiter erhöht). Leder paßt sich als Obermaterial bei neuen Schuhen relativ schnell der Fußform an und dementsprechend auch dem Tagesrhythmus. Auch dies ist ein wesentlicher Vorzug des Leders gegenüber einem synthetischen Material, da sich nach DIEBSCHLAG [41] der Fuß im Laufe des Tages im Mittel um 2 - 5 %, in Einzelfällen bis zu 8 % ausdehnt und schon, wie im Institut für Arbeitsphysiologie/TU München gezeigt wurde, Belastungen bzw. Druck am Rist um und über 100 p/cm² zu Druck und Schmerz am Fuß führen [56].

Das poromerische Material Xylee ist ein "Obermaterial aus einem hochfesten mit Polyurethan gebundenen Vlies aus Polyamid- und Viskosefasern, und einer darauf aufgebauten mikroporösen Polyurethan-Deckschicht." [RIESS 152]

Der Verband der Fasern kann in Verbindung mit der mikroporösen Polyurethanschicht Wasser aufnehmen und es als Wasser- bzw. Wasserdampf in den Fasern- bzw. Polyurethanzwischenräumen speichern. Durch die mikroporöse Deckschicht kann schließlich Wasser nach außen abtransportiert werden. Die dritte Gruppe, die sog. plain-products sind gekennzeichnet durch eine geschlossene kompakte Deckschicht, die auf einem Gewebeträger oder Vliesträger liegt.

HERFELD [83] stellt 6 Forderungen an das tragehygienische Verhalten von Materialien für den Schuhbau.

Dies sind:

1. Anpassung an die individuelle Fußform;
2. genügende Biegeelastizität;
3. Anpassung an den Tagesrhythmus (da sich das Fußvolumen im Verlauf des Tages ändert);
4. ausreichende Wasserdichtigkeit;

5. genügende Wasserdampfdurchlässigkeit;
6. genügendes Wasserdampfspeichervermögen.

Diese Forderungen gelten sowohl für die Beschaffenheit der Schuhsohle als auch für den Schuhoberbau und demnach auch für die Futtermaterialien, deren physikalische Werte aus Tabelle 7 bis 11, die Güterichtlinien aus Tabelle 6 zu ersehen sind.

DIN-Vorschriften für Schuhfuttermaterialien gibt es nicht.

Tab. 6

Güterichtlinien für Futterleder nach STATHER [173/64] und
MERCK [126/200]

Güterichtlinien		[126] pflanzlich	[173] pflanzlich	chromgegerbt
Mineralstoffe (Glühverlust)	Gesamt höchstens 1 % %		max. 2	Gesamtmineralstoffe max. 2 über Cr_2O_2
Chromverbindun- gen	%	max. 6	-----	mind. 1.5
Fett	%	3 - 8	über 50	-----
Azidität		pH nicht unter 3. Bei pH 3.5 - 4.5 Differenzzahl n. über 0.70	pH nicht unter 3.5; frei von stark wirkenden Säuren.	
Zugfestigkeit kg/cm^2		mind. 150	Kalb, Ziege Rind, Roß, Schwein Schaf, Kanin	mind. 250 mind. 150 mind. 100
Bruchdehnung	%	max. 100	max. 60	max. 100
Stichausreißfestigkeit kg/cm Dicke		mind. 40	Kalb, Ziege Rind, Roß, Schwein Schaf, Kanin	mind. 60 mind. 40 mind. 25
Weiterreißfestigkeit kg/cm Dicke		-----	Kalb, Ziege Rind, Roß, Schwein Schaf, Kanin	mind. 25 mind. 15 mind. 10
Wasseraufnahme nach 2 h nach KUBELKA	% nach 24 h	----- -----		mind. 75 mind. 100
Luftdurchlässigkeits- koeffizient (BERGMANN)		mind. 250		mind. 250
Wasserdampfdurchlässig- keitszahl (HERFELD)		mind. 300		mind. 300

3.1.1.1. Aufbau des Schuhes

MAISSEN [121/72] gibt folgende Schuhbestandteile an:

- Schaft:
 - Oberschaft
 - Unterschaft
- Boden
 - Rahmen
 - Brandsohle
 - Laufsohle
 - Gelenkfeder
 - Absatz

Folgende Macharten sind möglich:

Rahmengenähter Schuh

zwiegenähter Schuh

geklebter Schuh

Flexibelschuhe

Spritzgußverfahren

Das Futtermaterial ist mit dem Schaft entweder durch Vernähung oder durch Verklebung (Voll-Flächen-Klebung, Stich-Punkt-Klebung) verbunden. Thermoregulatorisch wirksam ist das Schaftmaterial samt Futter. Der Einfluß von verstärkter Zehenkappe und Fersenfutter auf das Mikroklima ist gering und wird nicht weiter diskutiert. Die verschiedenen Bestandteile des Schuhbodens werden im allgemeinen in der heutigen Fertigungsverfahren nur noch sehr selten miteinander vernäht.

3.1.1.2. Physikalische Eigenschaften der Schuhmaterialien

In den Tabellen 7 - 11 sind die physikalischen Kennwerte der Schuhschaft-, Futter- und Schuhbodenmaterialien zusammengestellt:

Tab. 7

Kennwerte der Schuhbodenmaterialien der Versuchsschuhe. - Die Werte für die chemische Untersuchung sind auf 0 % Wasser umgerechnet. Die für die Brandschle in Klammern angeführten Zahlen sind die Werte, die bei Lederbrandsohlen festgestellt werden. aus [49]

		Brandsohle Texon 437	Laufsohle Vacheleder
% Mineralstoffe		2,0 %	1,2 %
% auswaschbare Stoffe		1,6 %	10,6 %
pH-Wert		6,4	4,2
Raumgewicht	0,63	(0,9-1,0)	1,05
Zugfestigkeit Kp/cm ²	168/119	(200-330)	235
% Bruchdehnung	22/16	(25- 40)	28
Stichausreißfestigkeit Kp/cm	57/46	(120-190)	146
% Wasseraufnahme (Kubelka) 2 Std.	31	(mind.35)	28
Wasserdampfdurchlässigkeitzahl (Stather-Herfeld)	296	(350-500)	324
mg Wasserdampfaufnahme nach 24 Stunden			
offen	125	(300-450)	----
abgedeckt	160	(600)	----

Tab. 8

Physikalische Kennwerte der Futtermaterialien (ermittelt am Forschungsinstitut für die Lederwirtschaft, Westdeutsche Gerberschule, Reutlingen). aus [49]

Prüfung auf:	natürliche Futtermaterialien		synthetische Futtermaterialien			
	Bastard-Futter- leder	Skiver mit Nylon unterklebt	Ceef	Roy Poreda	Dypor-Tropor	
Dicke in mm	0,65	0,58	0,77	0,68	0,71	
Raumgewicht g/cm^3	0,66	0,55	0,72	0,62	0,78	
Zugfestigkeit kp/cm^2 - trocken	längs 200 quer 88	längs 53 quer 119	längs 71 quer 63	längs 93 quer 71	längs 90 quer 74	
Zugfestigkeit kp/cm^2 - naß	längs 183 quer 131	längs 48 quer 124	längs 63 quer 61	längs 90 quer 66	längs 73 quer 60	
Weiterreißfestigkeit kp/cm - trocken	längs 10 quer 16	längs 34 quer 31	längs 34 quer 38	längs 25 quer 28	längs 49 quer 39	
Weiterreißfestigkeit kp/cm - naß	längs 10 quer 12	längs 22 quer 32	längs 30 quer 31	längs 23 quer 22	längs 38 quer 44	
% Dehnung bei 10 kp/cm^2 - trocken	längs 4 quer 10	längs 3 quer 2,5	längs 7 quer 4	längs 4,5 quer 3	längs 4 quer 6	
% bleibende Flächendehnung nach 10maliger Dehnung im Tensor-						
meter bis 3 atü	2,2	Narbenplatten bei 2 atü	6,4	14,1	17,2	
% Flächenzunahme bei Steigerung der Luftfeuchte von 65 auf 100 %						
nach 24 Stunden	0,0	0,39	0,15	0,05	0,34	1
nach 48 Stunden	0,1	0,49	0,20	0,1	0,34	2
nach 120 Stunden	0,7	0,89	0,45	0,30	0,59	1
Verhalten im Flexometer nach 100 000 Knickungen	einwandfrei	Aufbrechen der Deckschicht	Aufbrechen der Schicht	Aufbrechen der Schicht	Aufbrechen der Schicht	
Wasserdampfdurchlässigkeits-Zahl (Statther-Herfeld) mg	781	765	167	159	215	
Wasserdampfaufnahme in mg nach 24 Stunden offen	41	2	2	11	11	
nach 24 Stunden abgedeckt	176	114	60	65	135	

Tab. 9

Physikalische Kennwerte der Schuhsohmatalien (ermittelt am Forschungsinstitut für die Lederwirtschaft, Westdeutsche Gerberschule, Reutlingen). aus [49]

Prüfung auf:	Boxcalf-Leder	Xylee
Dicke in mm	1,25	1,53
Raumgewicht g/cm ³	0,70	0,58
Zugfestigkeit kp/cm ² - trocken	längs 301 quer 377	längs 48 quer 78
Zugfestigkeit kp/cm ² - naß	längs 444 quer 399	längs 38 quer 49
Weiterreißfestigkeit kp/cm.		
- trocken	längs 30 quer 53	längs 18 quer 18
Weiterreißfestigkeit kp/cm		
- naß	längs 35 quer 38	längs 14 quer 18
% Dehnung bei 10 kg/cm ²		
- trocken	längs 4 quer 6	längs 4,5 quer 5
% bleibende Flächendehnung nach 10maliger Dehnung im Tensometer bis 3 atü	3,4	3,5
% Flächenzunahme bei Steigerung der Luftfeuchte von 65 auf 100 %		
nach 24 Stunden	0,19	0,34
nach 48 Stunden	0,19	0,59
nach 120 Stunden	1,20	0,94
Verhalten im Flexometer nach 100 000 Knickungen	einwandfrei	Rißbildung
Penetrometer		
1) Wasserdurchtritt nach Minuten	2	kein Durchtritt
2) Wasseraufnahme in g nach 1 Stunde	3,3	0,20
3) Wasseraufnahme in g nach 2 Stunden	3,7	0,22
Wasserdampfdurchlässigkeits-Zahl (Stather-Herfeld)	807	294
Wasserdampfaufnahme in mg		
nach 24 Stunden offen	133	61
nach 24 Stunden abgedeckt	574	135

Tab. 10

Wärmeleitzahlen λ

Material	Dicke [mm]	Wärmeleitzahl λ [kcal/m·h·°C]
box calf	0.65	0.0577 $\pm$ 0.0021
Bastard-Leder	1.3	0.0616 $\pm$ 0.0017
Skiver	0.6	0.0647 $\pm$ 0.0081
Ceef	0.85	0.0795 $\pm$ 0.0050
Dypor	0.75	0.0709 $\pm$ 0.0041
Roy Poreda	0.7	0.0957 $\pm$ 0.0050
Xylee	1.5	0.0825 $\pm$ 0.0029

Tab. 11

Diffusionsbeiwerte μ

Material	Dicke [mm]	Diffusionsbeiwert μ
box calf	1.1	7.3 $\pm$ 0.45
	1.1	7.2 $\pm$ 1.1
Ceef	0.9	352.0 $\pm$ 9
	0.9	330.0 $\pm$ 15
		348.0 $\pm$ 27
Bastard-Leder	0.7	9.2
	2.2	8.5
	1.8	8.2
	2.8	8.6 $\pm$ 1.53
	2.7	9.2 $\pm$ 0.5
Roy Poreda	0.8	332.0 $\pm$ 13
	0.8	290.0 $\pm$ 50
	0.8	396.0 $\pm$ 28
	0.8	274.0 $\pm$ 14
	0.8	292.0 $\pm$ 27
Skiver mit Nylon	0.75	11.0
	2.3	9.6 $\pm$ 1.38
	2.3	10.1 $\pm$ 1.2
	0.8	11.7 $\pm$ 2.5
	0.5	31.5 $\pm$ 3.4
Dypor	0.9	182.0 $\pm$ 7
	0.9	185.0 $\pm$ 6
	0.75	214.0 $\pm$ 24
Xylee	1.7	65.0 $\pm$ 28
	1.7	49.5 $\pm$ 4
	1.7	56.2 $\pm$ 0.9
	1.7	53.2 $\pm$ 1.5

3.1.1.3. Versuchsfertige Bestückung der Schuhe mit thermoelektrisch- und feuchtigkeitsempfindlichen Sensoren

a) Die Elektrizität, die beim Erwärmen einer Lötstelle eines Leiterkreises mit zwei verschiedenen Metallen entsteht (SEEBECK-Effekt), bezeichnet man als Thermoelektrizität. Haben in einem geschlossenen Leiter zwei solche Lötstellen verschiedene Temperaturen, so fließt ein elektrischer Strom, der Thermostrom. Durch die je 1°C Temperaturdifferenz erzeugte thermoelektrische Kraft ist die Thermokraft, die je nach Art der Metalle einige Millivolt beträgt. Die gesamte, den Strom erzeugende Vorrichtung ist das Thermoelement (niederohmige Gleichstromquellen). In vorliegendem Fall wurden zur Temperaturmessung Eisen-(+)/Konstantan(-)-Thermoelemente verwendet, die im Gegensatz zu anderen Metallkombinationen die höchste Thermospannung erzeugen (Thermokraft $\alpha \approx 52 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$) [17, 54, 115, 117, 145] und dies vor allem im physiologischen Temperaturmeßbereich von ca. 15°C - 40°C .

b) Herstellung der Thermoelemente

Für die Temperaturmessung gerade im Schuh waren robuste Meßfühler erforderlich. Zudem sollten sie möglichst klein sein, um beim Tragen des mit ihnen bestückten Schuhs nicht störend bzw. unangenehm zu wirken. Zur möglichst fehlerfreien Messung mußten die Meßfühler die Temperatur punktförmig erfassen.

Zur wesentlichen Kostenersparnis wurden solche Thermoelemente selbst gefertigt für den Meßbereich $+15^{\circ}\text{C}$ bis 40°C und gradweise geeicht. Ihre Größe betrug ca. 1 mm^2 , ihre Dicke 0,3 mm. Die Fertigung erfolgte wie nachstehend beschrieben:

1. Verdrillung der Metalladern (Eisen und Konstantan);
2. Verschweißung und Schleifen;
3. die Zuleitungen wurden gegeneinander abisoliert bzw. in PVC eingegossen;

c) Eichung der Thermoelemente

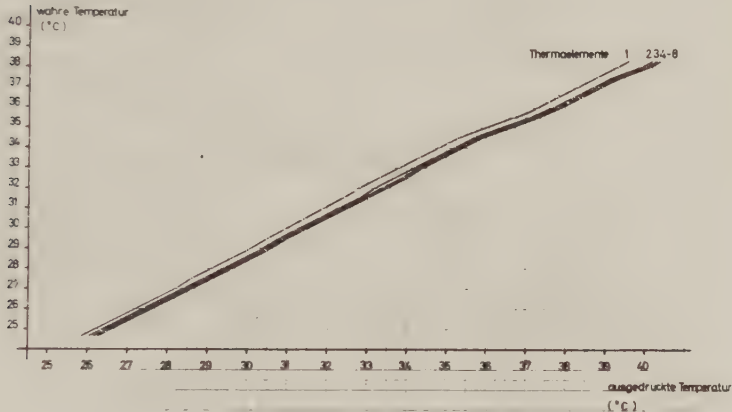


Abb. 26 Auszug aus einem Eichprotokoll. Die Eichung erfolgte in einem Kryostaten.

d) Einbau der Thermoelemente

Die Einbauorte bzw. die Anbringung der Thermoelemente geht aus Tab. 12 hervor. Die Thermoelemente wurden von 1 - 12 durchnummeriert.

Tab. 12

Einbauorte der Thermoelemente

Meßstelle	Zahl der TE.	Einbauort	Einbaustelle	Nr. d. TE.
1	3	Fuß lateral	Haut	1
			darüberliegende Schuhinnenseite	2
			darüberliegende Schuhschaftaußen- seite	3
2	3	Fußristmitte	Haut	4
			darüberliegende Schuhinnenseite	5
			darüberliegende Schuhschaftaußen- seite	6
3	1	mediales Fuß- gewölbe	Haut	7
4	1	seitlich der Ferse unter- halb des lat. Malleolus	Haut	8
5	1	Wade lat.	Haut	9
6	1	auf der Brust unterhalb des processus xiphoideus	Haut	10
7	1	auf der Streck- seite des un- teren Drittels des Unterarms	Haut	11
8	1	Rektaltempera- tur		12

Neben den Temperaturmessungen in und am Schuh (Thermoelemente 1 - 7) sollte durch die Thermoelemente 8 - 11 die Gesamtkörpertemperatur ermittelt werden. Zusätzlich vergleichsweise wurde die Rektaltemperatur erfaßt.

e) Bereits in Vorversuchen wurde geprüft, inwieweit die hier angewandte Untersuchungsmethode die Merkmale der Untersuchung "verzerrungsfrei" abbilden kann. Da im vorliegenden Fall die Messungen ausschließlich an Grenzflächen (Haut - Socke, Schuhschaft - Socke, Schuhschaft - Umgebung etc.) abgenommen wurden, mußte man bezüglich der Verlässlichkeit der methodenabhängigen Informationen verschiedene Gütekriterien ins Auge fassen [33/28]. Nach LIENERT [116] unterscheidet man drei Hauptgütekriterien:

Objektivität, Reliabilität (Zuverlässigkeit) und Validität (Gültigkeit) der Ergebnisse.

Objektivität wurde insofern gewahrt, als das Meßverfahren die zu ermittelnden Merkmale (Feuchte und Temperatur) eindeutig feststellte. Da das Verfahren bezüglich der Merkmale auch bei häufiger Anwendung in geringem zeitlichen Abstand und unabhängig vom Zeitpunkt zu identischen Resultaten führte, war der Reliabilitätskoeffizient hoch. Man kann nicht ausschließen, daß - wie jeder Meßwert bzw. bei jeder Messung - mit einem Fehler behaftet ist, bzw. ein Fehler auftritt. Sofern dieser Fehler wie in diesem Fall immer wieder in gleicher Weise reproduzierbar ist, geht er als konstanter Faktor in den Meßwert ein, so daß die Vergleichbarkeit der gesamten thermoelektrischen, wie der Feuchte-Meßwerte gegeben ist.

3.1.1.4. Datenerfassungsgeräte für Temperatur und Feuchtigkeit

Für die Temperaturmessung wurde ein Fallbügelschreiber der Firma PHILIPS verwendet. Die Temperaturmeßwerte wurden an einer $^{\circ}\text{C}$ -Skala angezeigt und auf einem Diagramm aufgezeichnet.

24 Thermoelemente konnten über einen zeitlich sehr exakten Umschalter in einem bestimmten Zeitrhythmus (2 Min.) abgefragt werden. Somit konnten die Daten von jeweils zwei Versuchspersonen in einem Untersuchungsgang erfaßt werden. Außerdem wurden die Meßdaten nach einem Codierplan von DIEBSCHLAG [42/90] über einen Analog-Digital-Converter auf Lochstreifen (Facit 4070 Streifenlocher) gespeichert. Die Lochstreifen aller Versuchspersonen und aller Versuche wurden mit Start- und Endezeichen versehen und in den Rechner des Leibniz-Rechenzentrums der Technischen Universität München gegeben. Die Auswertung erfolgte auf einem TELEFUNKEN-Computer TR 440.

Zur Messung der relativen Feuchte (r. F.) standen fünf Kanäle zur Verfügung. Dazu dienten verkleinerte und nachgeeichte Geber der Firma SINA-Schweiz. Diese wurden ausgewählt auf Grund ihrer Empfindlichkeit in der Anzeige von Schwankungen. Auch sie konnten ebenso wie die thermoelektrischen Meßwerte abgefragt, gespeichert und ausgewertet werden. Jeweils zwei dieser Fühler wurden im rechten Schuh zwischen Socke und Schuhinnenseite befestigt. Der eine wurde in der Mitte des Fußristes, der andere im medialen Fußgewölbe angebracht. Der Anzeigenbereich der SINA-Anlage reicht von 2 - 99,9 % r. F..

3.1.1.5. Klimatisierung des Laboratoriums

Zur Konstanthaltung exogener Faktoren wurden die Versuche in einer Klimakammer durchgeführt. Dies ist insofern notwendig, da schon innerhalb einer Minute nach Einsetzen einer veränderten Umgebungstemperatur der Grundumsatz des menschlichen Körpers sich den neuen Verhältnissen anpaßt [89/160]. Ähnliches konnte auch HENSEL [81/175] zeigen.

Unter folgenden Bedingungen wurden die Versuche gefahren:

20° C Temperatur

40 % relative Luftfeuchte

0,15 $\pm$ 0,02 m/sec. Luftbewegung

3.2. Versuchsplanung und Versuchsablauf

Bezüglich der zeitlichen Gestaltung des Versuchsablaufes kann ein Wechsel von physischer und mentaler Belastung von besonderem Einfluß auf die Ergebnisinterpretation sein. In früheren Untersuchungen von MÜLLER-LIMMROTH und DIEB-SCHLAG [47] wählte man folgenden Versuchsablauf:

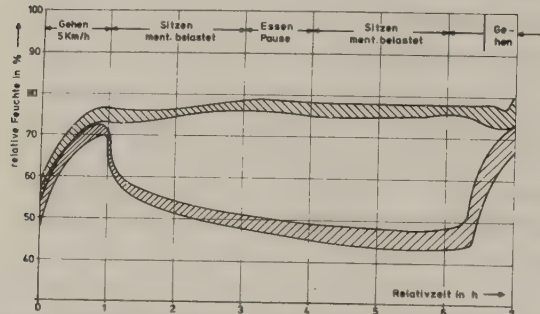
- 1 Stunde Gehen (5 km/h)
- 2 Stunden mentale Belastung
- 1 Stunde Mittag
- 2 1/2 Stunden mentale Belastung
- 1/2 Stunde Gehen (5 km/h)

Während des Gehens steigen Temperatur und Feuchte im Schuh an. Letztere als Folge einer über die insensible Feuchteabgabe hinausgehende sensible Schweißproduktion.

Da es synthetische Schuhschaftmaterialien gibt, die nach einer schweißbedingten Anfeuchtung auf Grund ihrer geringen Wasserdampfdurchlässigkeit dann den ganzen Tag über ein unphysiologisch hohes Feuchteniveau um den Fuß beibehalten (siehe Abb. 27), wurde daher im vorliegenden Teil eine Versuchsmodifikation vorgenommen.

In einer zweistündigen Versuchsanfangsphase wurde geprüft, inwieweit ein Schuh- bzw. Futtermaterial in der Lage ist,

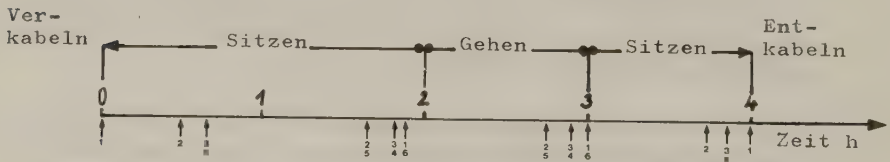
wenigstens die von der insensiblen Feuchteabgabe herrührende Wasserdampfmenge nach außen passieren zu lassen.



Relative Feuchte im med. Gewölbe in Leder- (unten) bzw. Synthetikschohen (oben). Bandbreiten der 7 Sockenqualitäten. Mittelw. von 8 Vpn

Abb. 27 aus [133]

Auf Grund dessen änderte man den Versuchsablauf derart, daß die Probanden die ersten beiden Stunden und die vierte Stunde im Sitzen verbrachten, bei leichter mentaler Belastung, in der dritten Stunde leisteten sie Tretbahnarbeit (s. Abb. 28).



- 1 Gesamtgewicht
- 2 Temperatur, Feuchte
- 3 Wärmefluß
- 4 Puls
- 5 Douglas-Sack
- 6 Schweißdrüsenaktivität (Fotos)

Abb. 28 Versuchsablauf

Die Geschwindigkeit auf dem Laufband betrug 5 km/h bei 114 Schritten/min., (s. Abb. 29), die in Vorversuchen mit einem Metronom gemessen wurden. Nach ATZLER und HERBST [11/102] ist unter diesen Bedingungen der Kalorienverbrauch eines Menschen minimal und beträgt bei einem 70 kg schweren Menschen 3,1 kcal/min. bzw. 190 kcal/h. HETTINGER [86/99] verweist auf ähnliche Werte.

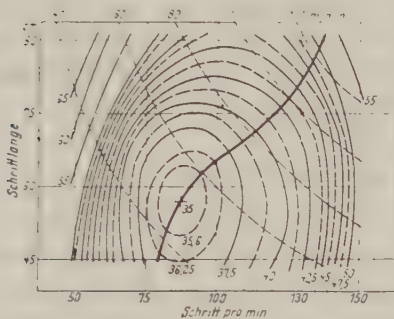


Abb. 29

Optimale Kombination von Schrittlänge und Schrittzahl.
Nach ATZLER und HERBST [11/102].

In den ersten beiden Stunden lagen Ruhebedingungen vor. Damit sollte, bedingt durch die auf Seite 71 erwähnte Klimawahl und die Sitzphase, die Auswirkung der insensiblen Wasserabgabe auf das System Fuß - Strumpf - Schuh beobachtet werden.

Während der Gehbelastung mußte der arbeitsbedingte Klimawechsel im Schuh erkennbar werden.

Die darauf anschließende Sitzphase sollte aufzeigen, inwieweit die verwendeten Materialien in der Lage sind, die Mikroklimawerte in den Schuhen wieder auf den Versuchsausgangswert zurückkehren zu lassen.

3.3. Versuchspersonen in der Hauptserie

a) Daten der Versuchspersonen

7 männliche Versuchspersonen nahmen an den Versuchen teil. Ihre Auswahl erfolgte unter den Aspekten etwa gleicher Körpergröße (170 - 180 cm), Beinlänge (100 - 110 cm) und Schuhgröße (41 - 42), Gewicht (68 - 78 kp), Alter (25 - 28 Jahre), Lebensrhythmus (Student) und Kondition (leicht trainiert). Diese individuellen Abweichungen innerhalb der ausgesuchten Testpersonen sollten möglichst gering gehalten sein, um dadurch bedingte Variationsbreiten der Messungen bzw. Meßwerte weitgehend auszuschalten.

b) Standardkleidung einschließlich Socken

Die Versuchspersonen trugen einheitlich leichte Bekleidung, die aus Baumwollunterwäsche, Baumwoll-Jeans und einem langärmeligen Mischgewebeoberhemd (Polyester-Baumwolle) bestand. Die Fußbekleidung setzte sich aus einer kurzen Baumwollsocke und den Testschuhen im Derby-Schnitt zusammen. Als Obermaterial wurde für alle Schuhe einheitlich schwarzes box-calf-Leder, für die Brandsohle Texon 437, für die Laufsohle Leder verwendet (siehe Tab. 7, 8, 9).

Die gesamte Bekleidung war den Testpersonen angepaßt und auf Laboratoriumsbedingungen klimatisiert.

c) Gesamter Vorgang der Verkabelung der Versuchspersonen

Die Versuchsanordnungsbedingungen waren auch insofern einheitlich, als die Versuchspersonen zum Versuch per öffentlicher Verkehrsmittel bzw. eigenem Pkw gekommen sind und somit vorher keiner nennenswerten Belastung ausgesetzt waren.

Bezüglich der Tagesrhythmik wurde die Versuchszeit einheitlich auf 8.30 Uhr bis 12.30 Uhr festgelegt. Die Probanden kamen eine Viertelstunde vor Versuchsbeginn, um sich in der Klimakammer umzuziehen. Anschließend wurden sie "verkabelt": Die Thermoelemente wurden an den in Tabelle 12 (Seite 68) genannten Stellen auf die Haut gebracht und angeklebt; zusätzlich wurden die Zuleitungen mit Klebestreifen auf der Haut bzw. Kleidung gegen Verrutschen und Knicken gesichert. Die einzelnen Kabel wurden zusammengefaßt und als Strang an der Außenseite des linken Beines bis zur Gürtellinie hochgeführt. Die beiden Feuchtefühler, die sich im rechten Schuh befanden, an den auf Seite 70 bezeichneten Stellen, wurden mit Klebestreifen befestigt und die Zuleitungen bis zur Wade hochgeführt. Die beiden Kabelstränge wurden an mehreren Stellen des Beines mit einer extra dafür geschaffenen Halterung befestigt, um während des Gehens nicht hinderlich zu sein (s. Abb. 30). Der gesamte Vorgang der Verkabelung genügte, um die Probanden auf das in der Klimakammer eingestellte Milieu zu konditionieren.

Neben den thermoelektrischen und Feuchte-Messungen wurden weitere physiologische Meßdaten, wie Herzfrequenz, Schweißdrüsenaktivität, Gewicht und metabolischer Wärmeumsatz, zu bestimmten Zeiten erfaßt (s. Abb. 28, S. 72). Zusätzlich wurde der Wärmefluß mit Wärmeflußmessern der Fa. TECHMARK an mehreren Stellen gemessen.

Die Schweißdrüsenaktivität wurde nach der Bromphenolmethode bestimmt. Dabei wurden die Pori sezernierender Schweißdrüsen angefärbt wie Abbildung 34 darlegt. Abbildung 35 veranschaulicht die Zunahme tätiger Schweißdrüsen während einstündigen Tretbahngehens.



Abb. 30

Vp. auf der Tretbahn

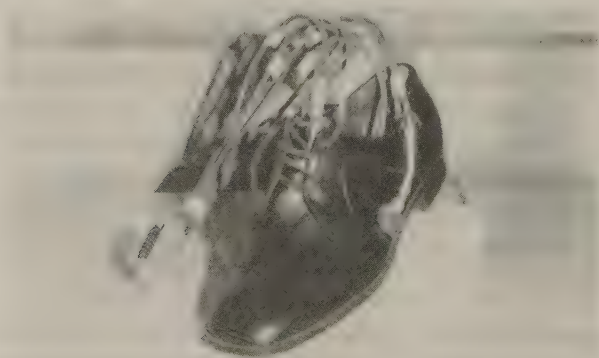


Abb. 31 Verkabelter Schuh

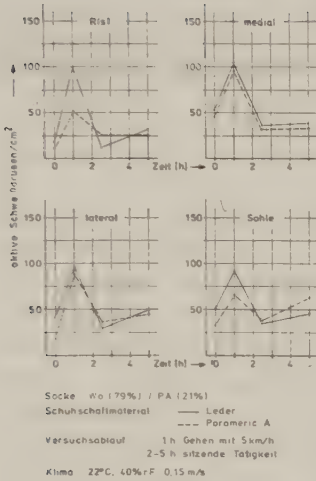


Abb. 32

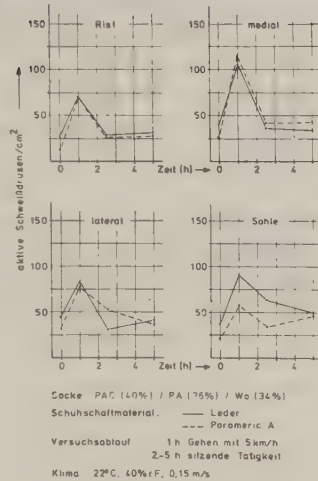


Abb. 33

Aktivierete Schweißdrüsen bei unterschiedlicher Fußbekleidung [133].

Aus der Zahl tätiger Schweißdrüsen/cm² der Oberfläche des untersuchten Bereiches (berechnet nach DUBOIS [50]) und der mittleren Sekretionsleistung der Einzeldrüse läßt sich die Gesamtsekretionsleistung errechnen. Die Schweißdrüsenaktivität wurde auf der Streckseite des Unterarms neben Thermoelement 11, an der Wade neben Thermoelement 9, auf der Brust unterhalb Thermoelement 10 (siehe Tabelle 12) gemessen. Der metabolische Wärmeumsatz wurde mit der Douglas-Sack-Methode (indirekte Calorimetrie im offenen System) bestimmt [62/257].

Abb. 34

Nach der Bromphenolmethode angefärbte Ausführungsgänge (Pori) tätiger Schweißdrüsen

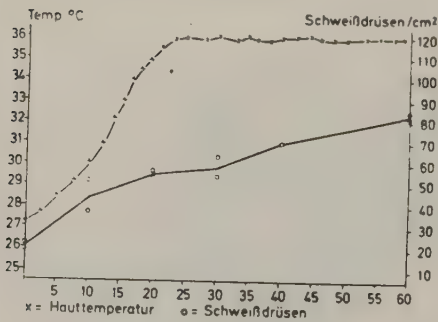


Abb. 35 Temperaturverlauf und Zahl der auf dem Fußrist aktivierten Schweißdrüsen während 1stündigem Gehens auf einer Tretbahn [43/9].

4. Meßergebnisse und Diskussion

4.1. Physiologische Meßdaten

Durch Messung des Energieumsatzes sollte die Einheitlichkeit der ausgewählten Probandengruppe aufgezeigt werden.

Die Energieumsatzbestimmung erfolgte an jeweils zwei aufeinanderfolgenden Tagen sowohl in der Sitzphase, wie auch während der Gehphase mittels der indirekten Calorimetrie (über Messung des Sauerstoffverbrauches) im offenen System (Douglas-Sack-Methode) [62/257]. Nach GANONG [62/254] steht der Sauerstoffverbrauch, ausgenommen es besteht eine Sauerstoffschuld, immer im Gleichgewicht mit dem momentanen Bedarf. Die Menge des verbrauchten O_2 /Zeiteinheit ist daher der freigesetzten Energie proportional (calorischer "Brennwert" des Sauerstoffes). Unter Anwendung der Gasanalyse nach SCHOLANDER und bei bekannter O_2 - und CO_2 -Konzentration der Umgebungsluft ließen sich die Konzentrationen des verbrauchten Sauerstoffes und des abgegebenen Kohlendioxids errechnen. (Werte siehe Tabelle 16, Spalten 3 mit 9, sowie S. 118 - 123).

Aus dem Quotienten der produzierten Menge CO_2 /Zeiteinheit und der verbrauchten Menge O_2 /Zeiteinheit ließ sich der respiratorische Quotient (RQ; siehe Tabelle 16, Spalte 10) bestimmen. Der RQ beträgt nach SCHÜTZ [164/79] bei reiner Kohlenhydrat-Verbrennung 1,0, bei Fett nur 0,7 und bei Proteinen im Durchschnitt 0,82. Unter gewissen Umständen, wie Hyperventilation, metabolischer Azidose und Arbeit erreicht der RQ Werte über 1,0 und kann sogar bei sehr schwerer Arbeit kurzfristig bis auf 2,0 [62/254] ansteigen. Bei metabolischer Alkalose hingegen fällt der RQ ab bis 0,5.

Das Sauerstoff-Kalorien-Äquivalent (SKÄ; s. Tab. 16, Spalte 11) gibt das Verhältnis von erzeugter Kalorienmenge zu aufgenommener Sauerstoffmenge an und errechnet sich nach TIEMANN [180/10] wie folgt:

$$SKÄ = 3.815 + 1.232 \cdot RQ \text{ [kcal/l O}_2 \text{]}.$$

GANONG [62/254] gibt bei einer mittleren Stoffwechsellage mit einem RQ von 0,85 einen Wert von 4,82 kcal/l O₂ an (s. Tab. 13). Nach PICHOTKA [146/152] beträgt das SKÄ bei Kohlehydratverbrennung 5.02
 bei Fettverbrennung 4.69
 bei Proteinverbrennung 4.48.

Das Atemminutenvolumen (AMV; siehe Tabelle 16, Spalte 12) wurde über die Douglas-Sack-Methode bestimmt.

Da Gasvolumina von Druck und Temperatur abhängig sind und der Wasserdampfgehalt unterschiedlich ist, wurde diese Volumenmessung auf Standardbedingungen korrigiert. In vorliegendem Fall wurde auf STPD (Standard Temperature and Pressure Dry) nämlich 0° C, 760 mm Hg, trocken bezogen.

zur Umrechnung entnahm man die entsprechenden Faktoren aus den Geigy-Tabellen [64/263], die sich aus der Formel

$$\frac{p - p_{H_2O}}{760 (1 + \alpha t)} = \text{Umrechnungsfaktor}$$

auf STPD [64/263] ergaben, wobei p und t der Druck bzw. Temperatur in Torr bzw. ° C im gemessenen Luftvolumen, p_{H₂O} der Druck des gesättigten Wasserdampfes bei Temperatur t, α der kubische Wärmeausdehnungskoeffizient für Luft zwischen 0° C und 100° C bei gleichbleibendem Druck von 760 Torr ist.

REYNAULT (1842) ermittelte für α_{Luft} 0,003670. Das Atemminutenvolumen auf STPD bezogen ist aus Tabelle 16

Spalte 13 ersichtlich.

Tab. 13

Korrelation zwischen Wärmeäquivalent und RQ nach MURALT [135]

RQ	0.68	0.72	0.76	0.80	0.84	0.88	0.92	0.96	1.00
SKÄ [kcal/l]	4.65	4.70	4.75	4.80	4.85	4.90	4.95	5.00	5.05

Tab. 14

Einfluß verschiedener Umgebungstemperaturen auf die O₂-Aufnahme bei Ruhe. Die Versuchspersonen waren "in gewohnter Weise" bekleidet. Nach GROLLMANN [70].

Raumtemperatur [° C]	Sauerstoffverbrauch [ml/min]
0	330
10	290
20	240
30	250
40	255
45	260

Der Sauerstoffverbrauch pro Minute ist das Produkt aus Atemminutenvolumen und effektiv verbrauchtem Sauerstoff. Nach GROLLMANN [70] beträgt der Sauerstoffverbrauch bei 20° C Raumtemperatur einer in Ruhe befindlichen Versuchsperson, die in "gewohnter Weise bekleidet" war, 240 ml/min. (s. Tab. 14).

Tab. 15

Alters- und Geschlechtsabhängigkeit des Grundumsatzes. Nach KEELE und NEIL [97]

Alter in Jahren	Grundumsatz in kcal/m ² h	
	männlich	weiblich
2	57.0	52.5
6	53.0	50.6
8	51.8	47.0
10	48.5	45.9
16	45.7	38.8
20	41.4	36.1
30	39.3	35.7
40	38.0	35.7
50	36.7	34.0
60	35.5	32.6

Der Energieumsatz (Tabelle 16, Spalte 15)

$$EU = O_2 \text{ Verbrauch/min.} \cdot SK\ddot{A} [180 / 10]$$

stellt die Leistung dar, die aus der aufgenommenen Sauerstoffmenge bei vollständiger Verbrennung und unter Berücksichtigung des unterschiedlichen kalorischen Wertes des Sauerstoffes erzeugbar ist. Diese Leistung ist das Produkt aus SKÄ und verbrauchtem Sauerstoff/min.. In Tabelle 16 Spalte 16 ist diese Leistung schließlich noch auf Watt umgerechnet.

Nach SPITZER [171/10] ist der Umsatz abhängig von:

Art der Arbeit, Arbeitsgeschwindigkeit, Geschicklichkeit des Arbeiters, Arbeitsbedingungen. Diese Faktoren konnten in vorliegendem Versuch vernachlässigt werden, da die genannten Bedingungen gleich waren.

Auch sei erwähnt, daß beim Gehen (5 km/h) in Halbschuhen mit 800 g Gewicht pro Paar in der Minute 3.1 kcal [171/22] frei werden. Weiterhin ist der Tatsache, daß bei ein- und derselben Person im Laborversuch die Schwankungsbreite etwa $\pm 5\%$ [171/12] beträgt, Rechnung zu tragen.

Der Temperatureinfluß (20°C) konnte unberücksichtigt bleiben, da erst bei höheren Temperaturen ab 30°C ein nennenswerter Einfluß auf den Kalorienverbrauch erfolgt. SPITZER [171/21] gibt für eine 70 kp schwere männliche Versuchsperson beim Gehen auf ebenem, glatten Weg (Tretbahn) bei einer Geschwindigkeit von 5 km/h einen Kalorienverbrauch von 3 - 4 kcal/min. an, was einem Wert von 180 - 240 kcal/h bzw. ca. 210 - 280 Watt entspricht. Sämtliche erhaltenen Werte aller Versuchspersonen lagen in dieser Größenordnung.

Da nach SPITZER [171/11] der Kalorienverbrauch nur bei mittelschwerer und schwerer körperlicher Arbeit ein geeignetes Maß für die körperliche Belastung ist und geistige Arbeit, wie in vorliegendem Fall während des Sitzens sich nicht mit Hilfe des Kalorienverbrauches beurteilen läßt, so sind die dafür errechneten Werte kein echter Maßstab und können hier nur zum groben Vergleich der Versuchsperson herangezogen werden. Dennoch lagen auch diese Werte im Normbereich, wie Tabelle 15 zeigt. Wie aus Abb. 36 hervorgeht, betrug der metabolische Wärmeumsatz über 7 Versuchspersonen und 7 Tage gemittelt in Ruhe (Sitzen) 72 Watt.

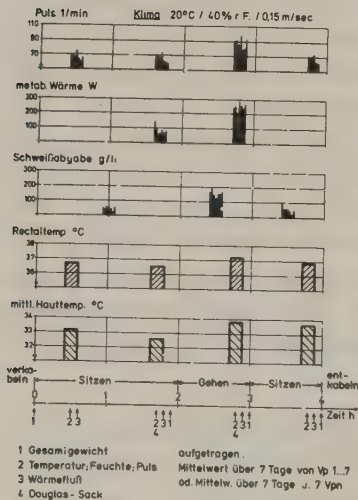
Ebenso erhielt man bezüglich der Herzfrequenz einen Mittelwert von 65 Schlägen/min. während der 2stündigen Sitzphase, woraus auch geschlossen werden konnte, daß in dieser Phase annähernd Ruhebedingungen vorlagen. Dies konnte weiterhin durch die leicht abfallende Rektaltemperatur, sowie die auf 32.6°C angelangte mittlere Hauttemperatur

bestätigt werden. Unter diesen Bedingungen konnte nur eine insensible, jedoch keine sensible Wasserabgabe erwartet werden. Sie betrug (Abb. 36) durchschnittlich $40 \text{ g/h} \cdot \text{Körperfläche}$ (s. Kap. 2.2.). Während des Gehens (mittelschwere Arbeit) erreichte die Herzfrequenz im Mittel einen Wert von 90 Schlägen/min. (Arbeitspuls = 25); die Rektaltemperatur und mittlere Hauttemperatur stiegen an; es kam zur sensiblen Schweißabgabe, wofür ein Wert von etwa $150 \text{ g/h} \cdot \text{Körperfläche}$ ermittelt wurde (s. Abb. 36).

Gegen Ende der dann anschließenden zweiten Sitzphase (4. Stunde) waren alle genannten physiologischen Daten wieder in der Nähe der Ausgangswerte.

Abb. 36

Futtermaterialunter-
suchungen 1975
Gesamtzustand der Vpn.



Tab. 16 Werte zur Energieumsatzbestimmung

Vp 1	1	1		1		
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.	2	1.Tag (714Torr) Sitzen Gehen		2.Tag (717Torr) Sitzen Gehen		
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	21.690	22.087	21.315	20.779
	M ₂	4	20.928	21.171	20.615	19.992
	M ₃	5	17.277	17.735	16.976	16.633
	% CO ₂	6	3.513	4.1472	3.2840	3.7870
	% O ₂	7	16.8320	15.5566	17.0720	16.1650
	% eff.CO ₂	8	3.3230	3.9576	3.0944	3.5974
	% eff.O ₂	9	4.0390	5.3147	3.7993	4.7063
RQ (10)= $\frac{(8)}{(9)}$	10	0.8227	0.7446	0.8145	0.7644	
SKÄ [kcal/l O ₂]	11	4.8286	4.7323	4.8185	4.7567	
AMV (gemessen) [l/	12	6.13	18.60	8.05	17.80	
AMV (STPD) [l/	13	5.2332	15.8788	6.9021	15.2617	
O ₂ -Verbrauch[l/min/] (14)=(13)·(9)	14	0.2114	0.8439	0.2622	0.7183	
EU [kcal/h/] (15)=(11)·(14)·60	15	61.2459	239.6153	75.8046	205.0043	
EU [Watt/] (16)=(15)·1.1624	16	71.1922	278.5288	88.1153	238.2969	

Körpertemperaturen

Als wichtiges Beurteilungskriterium wurden neben Energieumsatz, Atemminutenvolumen, Gewicht und Puls die Rektaltemperatur und an verschiedenen Stellen die Hauttemperaturen der Versuchspersonen während der Experimente erfaßt. Abb. 37 zeigt die Temperaturverläufe während des Versuches, gemittelt aus 7 Versuchspersonen beim Tragen von 2 Schuhober- bzw. 5 Schuhfuttermaterialien. Das Tragen verschiedener Materialien hatte nur geringen Einfluß auf die genannten Temperaturen.

Die Rektaltemperatur lag zu Versuchsbeginn im Normbereich bei $36,8^{\circ}\text{C}$. Während der ersten beiden Stunden (1. Sitzphase) fiel diese Temperatur auf Grund des relativ hohen Gradienten Mensch - Umgebung (Umgebungstemperatur 20°C) leicht ab, wobei mehr Wärme abgegeben als produziert wurde. Es wurde annähernd ein Gleichgewichtszustand (steady-state) bei $36,6^{\circ}\text{C}$ erreicht. Mit Beginn der Gehphase steigt die Rektaltemperatur durch die körperliche Belastung an, die Bluttemperatur ist erhöht, es kommt zur sensiblen Schweißabgabe. Nach etwa 50 Minuten ist ein Fließgleichgewichtszustand erreicht. Gegen Ende der dritten Phase hat die Rektaltemperatur wieder ihren Ausgangswert erreicht.

Am Rumpf (Meßpunkt: proc. xiphoideus) zeigt sich der Verlauf der Temperaturen identisch. Jedoch liegen hier die Temperaturen auf Grund des radialen Temperaturgefälles (s. 2.2.) um ca. $2,5^{\circ}\text{C}$ niedriger.

Die Temperaturen am Unterarm lagen während des Versuches auf einem noch niedrigeren Niveau (axiales Temperaturgefälle s. 2.2.). Nach 30 Min. Sitzen wiesen die Temperaturen Werte von $33,1^{\circ}\text{C}$ bzw. während der folgenden $1\frac{1}{2}$ Stunden $32,6^{\circ}\text{C}$ auf. Jedoch fiel die Temperatur während des Gehens um $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$ weiter ab, was damit zu erklä-

ren ist, daß die Arme während des Gehens gleichmäßig bewegt und damit relativ stark belüftet wurden (Verbesserung des konvektiven Wärme- und Feuchteübergangs). Nach Beendigung dieser Phase stieg die Temperatur während der folgenden Stunde wieder annähernd auf die Ausgangswerte von $32,7^{\circ}\text{C}$.

Bei den Temperaturen der Wade (Ausgangswert $31,6^{\circ}\text{C}$) und des Knöchels (Ausgangswert $29,1^{\circ}\text{C}$) zeigte sich das axiale Temperaturgefälle noch deutlicher. Beider Temperaturverlauf war dem der Rektaltemperatur und der Brusttemperatur ähnlich (Abfall in der ersten Phase, Anstieg in der zweiten Phase, Abfall in der dritten Phase). Jedoch zeigte sich ein relativ hoher Temperaturabfall in der ersten Phase von $1,5 - 2^{\circ}\text{C}$. Entsprechend war auch der steile Anstieg der Temperaturen während der zweiten Phase um 3 bzw. 5°C . Zum Ende der anschließenden Sitzphase hatten sich diese Werte noch nicht wieder ganz normalisiert. (Erklärung: Extremitäten sind die Effektoren der menschlichen Wärmeregulation.)

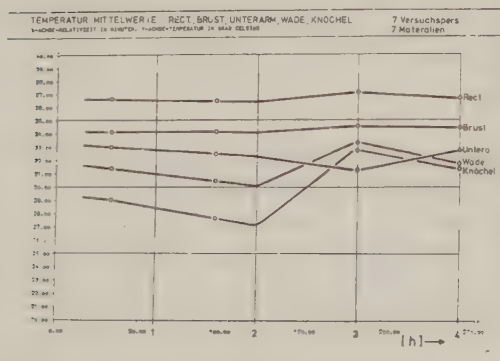


Abb. 37 Verlauf der Körpertemperaturen

4.2. Temperatur-Diagramme

Bezüglich der Temperaturmittelwertskurven aus 49 Hauptversuchen (7 Vpn., 7 Materialien) läßt sich sagen, daß die Kurven in den ersten beiden Stunden annähernd gleichmäßig um $1 - 2^{\circ}\text{C}$ abfallen; in der Gehphase haben die Kurven einen leicht s-förmigen Verlauf mit einem nahezu linearen Mittelstück bis zur 50sten Versuchsminute. Dies konnte auch in den früheren Untersuchungen von MÜLLER-LIMMROTH und DIEBSCHLAG [40, 42, 45, 132] gezeigt werden. Etwa ab der 50sten Minute stellen sich die Temperaturen an den verschiedenen Meßpunkten auf gleichbleibende Werte ein (steady-state). In der anschließenden einstündigen Sitzphase sollten sich die Temperaturen wieder normalisieren. Der Kurvenverlauf der Abbildungen 38 (und 43 - 48 Kap. 6) deutet dies an.

Abbildung 45 zeigt die Temperaturverläufe im Leder- und Xylee-Schuh am Meßpunkt Sohle (mediales Gewölbe). Während der ersten beiden Stunden ist beider Verlauf nahezu identisch, in der Gehphase jedoch ist die Steilheit des Temperaturanstiegs und auch die absolute Temperatur im Lederschuh (um ca. $1,5^{\circ}\text{C}$) höher als im Xyleeschuh und bleibt auch bis zum Ende der dritten Phase auf einem höheren Niveau.

In Abbildung 44 und 43 sind die Gradienten Rist vorn bzw. lateral dargestellt. In beiden Fällen zeigt sich, daß die Temperaturen im Xyleeschuh geringere Werte aufweisen als die Temperaturen im Lederschuh. Die Unterschiede liegen in einer Größenordnung von 1°C , sind jedoch statistisch nicht signifikant (s. Tab. 20, Kap. 4.4.).

In der Abbildung 39 sind die Bandbreiten (höchste und niedrigste Temperatur) aller Futtermaterialien am Rist zusammengestellt. Es wurde das Futtermaterial Leder und das Material Roy Poreda (wobei wie aus Tab. 17 hervor-

geht, Leder die geringsten, Roy Poreda die höchsten Temperaturwerte aufwies) einander gegenübergestellt (s. Abb. 46 - 48, Kap. 6.); alle anderen untersuchten Materialien liegen, wie die Messungen ergaben, ansteigend, von dem geringsten Temperaturwert ausgehend, in der Reihenfolge: Bastard-Leder, Skiver, Ceef, Dypor, Roy Poreda, innerhalb dieses Bandes.

Genannte Tatsache gilt für die Gradienten Rist, lateral, Sohle. Der Verlauf der Temperaturen war bei allen untersuchten Materialien gleich.

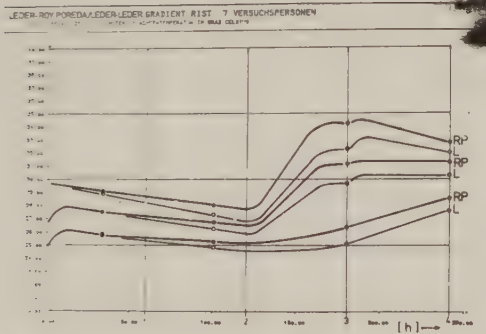


Abb. 39 Temperaturgradient Haut - Schuh innen - Schuh außen am Rist. Bandbreiten der 5 Futtermaterialien. Mittelwerte von 7 Versuchspersonen.

Tab. 17 Temperaturen in ° C für verschiedene Schuhmaterialien zu verschiedenen Zeiten

Material	Meßzeit- punkt	Meßstelle						
		Rist			Lateral			Sohle
		Haut	innen	außen	Haut	innen	außen	
box calf	120. Min.	27.6	25.8	25.1	28.6	27.2	26.0	28.3
	180. Min.	31.9	28.5	25.3	34.3	29.9	27.2	33.4
	240. Min.	32.0	29.2	27.8	32.3	31.6	30.4	32.5
Xylee	120. Min.	27.4	26.2	25.0	28.0	26.3	25.6	28.1
	180. Min.	31.4	28.0	24.8	32.6	28.7	25.8	31.7
	240. Min.	31.8	29.4	27.5	32.8	30.8	29.8	31.4
Bastard- Leder	120. Min.	27.0	26.0	24.6	27.4	26.2	25.0	27.2
	180. Min.	32.4	29.6	25.1	34.1	31.3	25.7	33.2
	240. Min.	32.2	30.4	27.6	33.4	31.4	28.8	32.8
Roy Poreda	120. Min.	27.8	26.7	25.3	29.1	27.7	26.4	28.3
	180. Min.	34.4	31.1	26.3	38.3	32.3	27.2	34.3
	240. Min.	33.1	31.5	28.6	34.2	32.8	29.8	34.2

4.3. Feuchte-Diagramme

Zur Beurteilung der Kurven hinsichtlich der relativen Feuchte (r. F.) läßt sich sagen: Sämtliche Schuhe waren zu Versuchsbeginn auf eine r. F. von 40 % konditioniert.

Nach MÜLLER-LIMMROTH [134] erhöhen sich beim Anziehen des Schuhs die Fußtemperaturen (als "Normaltemperatur"

für einen Fuß in Ruhestellung ohne Schuh können 27 - 28° C angenommen werden), beim Schuh mit Lederoberteil um 0,7° C, beim Schuh mit Synthetikoberteil um 1,2° C. Diese Tatsache ist auch auf die Futtermaterialien anzuwenden. Da die Schweißdrüsen schon bei geringgradigen Temperaturerhöhungen (0,2° C) zu arbeiten beginnen, geschieht dies in Schuhen mit Synthetikfutter in höherem Maße als bei Lederfutter.

Aus Abbildung 39 ist ersichtlich, daß während der ersten Phase (2 h Sitzen) die r. F. am Rist immer niedriger waren, als im medialen Gewölbe. Diese Tatsache ist damit zu erklären, daß die Versuchspersonen während des Sitzens lediglich einer mentalen Belastung ausgesetzt waren, und demnach mußten die Sekretionsmengen im medialen Gewölbe, da die Schweißdrüsen an dieser Stelle vermehrt auf emotionelle Reize ansprechen [40], über denen am Rist liegen.

In der Arbeitsphase (3. Std.) zeigt sich folgendes:

Rist: Allgemein ein Anstieg der relativen Feuchte,

1. bedingt durch die größere Anzahl der Schweißdrüsen auf dem Fußrist, als auf der Fußsohle [134] und
2. durch die Sekretion dieser Drüsen vorwiegend auf Grund thermischer Reize.

Medial: Bei den natürlichen Schuh- bzw. Futtermaterialien (Bastard-Leder, Leder-Leder, Leder-Skiver) Anstieg, bei den Synthetiks (Xylee, Ceef, Dypor, Roy-Poreda) geringgradiger Abfall der r. F. von dem schon sehr hohen Niveau (s. Abb. 49 - 54, Kap. 6.).

Die Werte liegen mit einer Ausnahme (Roy-Poreda) unter den Werten, die am Rist gemessen wurden. Diese Tatsache erklärt sich so:

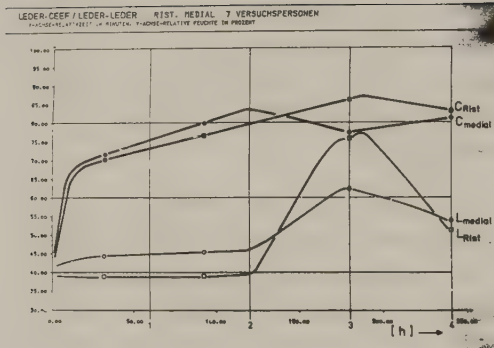


Abb. 39 Mittlere Verläufe der relativen Luftfeuchte (%) in Schuhen mit Futter aus Bastard-Leder und dem synthetischen Material Ceeff.

1. Die mentale Belastung während der Geharbeit entfällt weitgehend,
2. die durch das Gehen bedingte Belüftung muß im medialen Gewölbe relativ groß sein.

Da sich in den Schuhen mit Synthetikfutter schon während des Sitzens medial eine hohe unphysiologische r. F. (im Gegensatz zum Leder) eingestellt hat, scheint hier der Wegfall der mentalen Belastung und vor allem die Belüftung während des Gehens wesentlich dafür zu sein, daß ein weiteres Ansteigen verhindert wird. Die genannten Effekte äußern sich beim Lederschuh in einem hohen Feuchtgradienten Rist-medial.

In der 180. - 190. Minute ist bei den Materialien Bastard-Leder, Leder mit Lederfutter, Skiver, Xylee, Ceeff auf Grund der noch sezernierenden Schweißdrüsen am

Rist ein weiterer (s. Abb. 49 - 52, Kap. 6.), allerdings geringer Anstieg der r. F. zu sehen; diese Tatsache ist bei Roy-Poreda (Abb. 54) und Dypor (Abb. 53) wegen des schon sehr hohen Niveaus kaum ausgeprägt.

Bei allen Materialien zeigt sich nach diesen 10 Minuten eine Änderung des Verlaufs, nämlich ein Absinken auf niedrigere Werte (Ausnahme: Roy-Poreda). Ein derartiger Abfall ist bei den Materialien Xylee, Ceef, Dypor (Abb. 39, 50, 53) wenig ausgeprägt, sehr deutlich hingegen bei den Naturprodukten (Abb. 39, 49, 51) (Rückgang auf den Ausgangswert). Bei den Materialien Roy-Poreda, Dypor, Xylee, Ceef (Abb. 39, 50, 53, 54) zeigt sich in dieser Phase an der medialen Meßstelle eindrucksvoll der Einfluß der wieder begonnenen mentalen Belastung, was durch wiederholten Anstieg auf höhere r. F. aus den Abbildungen 49 - 54 (Kap. 6.) zu ersehen ist. Bei den natürlichen Materialien äußert sich dieser Einfluß in einem prozentual geringeren Abfall auf die Ausgangswerte, als beim Rist, wo die Werte linear abnehmen (Abb. 49, 51).

Beim Vergleich des natürlichen Schaftmaterials box-calf ohne Futter und des synthetischen Materials Xylee ohne Futter zeigt sich folgendes (Abb. 50): Obwohl die Ausgangsbedingungen (40 % r. F.) gleich waren, stieg, kurz nachdem die Versuchspersonen die Schuhe angezogen hatten, die Feuchte im Xylee-Schuh sowohl im medialen Gewölbe wie auch lateral an, während die Feuchten im Lederschuh während der ersten 120 Minuten konstant blieben. Obwohl in dieser Phase nur eine insensible Schweißabgabe zu beobachten war, erreichten die Feuchten im Xylee-Schuh Werte von 67 - 68 % (medial) und 60 % (lateral), Größen, die noch als physiologisch anzusehen sind.

In der Gehphase stiegen auch die Luftfeuchten im Lederschuh an und erreichten Werte von 70 % (lateral) bzw.

60 % (medial). Im Xylee-Schuh war aber am Rist nochmals eine Erhöhung der Feuchte auf über 80 % zu messen, während die Feuchte im medialen Gewölbe geringfügig abfiel (Wegfall mentaler Belastung, Belüftung).

In der dritten Phase zeigte sich, daß im Lederschuh die Feuchten wieder auf die Ausgangswerte zurückkehren, während die Werte im Xylee-Schuh

1. auf einem weitaus höheren (unphysiologischen) Niveau lagen und
2. am Ende dieser Phase noch kaum ein Abfall auf niedrigere Feuchten zu erkennen war.

Welche Bedeutung allein einem Futtermaterial zukommt, zeigt der Vergleich eines Lederschuhes ohne Futter mit dem eines Lederschuhes mit Lederfutter (Abb. 49). Der Kurvenverlauf der Feuchten im Lederschuh ohne Futter wurde bereits besprochen, der des Lederschuhes mit Lederfutter ist dem identisch, wobei die Werte im allgemeinen um 5 bis 10 % r. F. höher liegen. Dies zeigt, daß das Futter einen Einfluß auf das Mikroklima im Schuh hat, der ganz erheblich sein kann, wenn anstelle eines Lederfutters ein Synthetikfutter verwendet wird. HERFELD [83] hat verschiedene Kombinationen von Schuhfutter- und Schuhobermaterialien untersucht und hat das Ergebnis in Tabelle 18 zusammengestellt.

Tab. 18 Zusammenwirken von Obermaterial und Futter an
Schuhen nach HERFELD [83]

*) Die Wasserdampfdurchlässigkeitszahl nach HERFELD gibt die Menge Wasserdampf in mg an, die in 24 h unter den gegebenen Bedingungen durch 10 cm² hindurchgeht.

Material	Wasserdampf- durchlässig- keitszahl	mg Wasserdampf- aufnahme 24 Std.
Oberleder	294	300
synth. Obermaterial	238	35
Futterleder	411	230
synth. Futter	316	22
Oberleder	298	307
Futtermaterial		(122 + 185)
Oberleder	289	126
synth. Futter		(105 + 21)
synth. Obermaterial	241	45
synth. Futter		(30 + 15)

Tab. 19 Relative Feuchten in % für alle untersuchten Schuhmaterialien zu verschiedenen Zeitpunkten

Meßstelle	Rist			medial		
Meßzeitpunkt	120.Min.	180.Min.	240.Min.	120.Min.	180.Min.	240.Min.
Material						
box calf	37.5	71.0	52.0	41.0	61.0	51.0
Bastard-Leder	40.0	76.0	52.0	46.5	62.5	54.5
Skiver	40.0	73.5	56.5	48.0	64.0	53.0
Ceef	79.0	86.5	83.5	83.5	77.5	81.5
Dypor	75.5	86.0	83.0	76.5	68.0	72.0
Roy-Poreda	79.0	78.5	79.0	85.0	79.0	83.5
Xylee	60.0	80.5	81.5	68.0	67.0	67.5

4.4. Statistische Signifikanzprüfungen

Aus der Anzahl der Klimameßwerte im und am Schuh wurden differenziert nach Schuhmaterial für jede Meßstelle die Mittelwerte, Standardabweichungen und Streuungen berechnet und die Mittelwertskurven graphisch dargestellt.

Für die statistische Absicherung der Ergebnisse ist es von Notwendigkeit, bestimmte Hypothesen aufzustellen. Der Signifikanztest soll dann zeigen, welche Hypothese zutrifft, bzw. welche nicht. In der Praxis legt man gewöhnlich eine Irrtumswahrscheinlichkeit (IWS) von 5 % (1 %) fest, d. h.: Eine Entscheidung in 5 von 100 Fällen irrtümlich zu treffen, und lehnt die Nullhypothese (Hypothese und Alternative unterscheiden sich nicht, der Unterschied beträgt "Null") [184] ab, wenn die IWS geringer als 5 % (1 %) ist. In diesem Fall, also bei Ablehnung der Nullhypothese, kann man sagen: Die gewählten Merkmale unterscheiden sich "signifikant" voneinander. In einem solchen Fall spricht man dann von 5 % (1 %) Signifikanzschwelle oder Signifikanzniveau. Die Wahl des Signifikanzniveaus ist willkürlich und abhängig davon, inwieweit man bereit ist, das Risiko, eine irrtümliche Entscheidung zu treffen, auf sich zu nehmen.

Soll eine möglichst sichere Aussage gemacht werden, so setzt man die IWS gleich 1 % oder noch kleiner. Wenn IWS gleich 1 % ist, so bedeutet das: In höchstens einem Fall von 100, in dem sich die Nulltheorie bewahrheitet, erklärt man diese (irrtümlich) für falsch. Ergibt sich keine Signifikanz, so wird die Nullhypothese gewöhnlich angenommen, weil ja kein Grund zu ihrer Ablehnung besteht. Die Möglichkeit jedoch, falsch zu sein, kann nicht ausgeschlossen werden.

Signifikante Unterschiede festzustellen mit Angabe der dann verbleibenden IWS ist wichtiger als die Feststellung signifikanter Gleichheit. Das Wesentliche und die Aussagekraft eines Signifikanztestes liegt demnach in der Ablehnung der Nullhypothese.

Will man mit Hilfe statistischer Prüfverfahren eine Aussage über die Grundgesamtheit machen, so müssen zuerst die Richtlinien der Stichprobentheorie befolgt werden. Im vorliegenden Fall lag keine Zufallsstichprobe, sondern eine "organisierte Stichprobe" vor, da die Versuchspersonen unter relativ einheitlichen Aspekten ausgewählt wurden. Die gewonnenen Ergebnisse sind daher nicht repräsentativ für die gesamte Population (wirklich repräsentativ für die Grundgesamtheit ist nur eine reine Zufallsauswahl größerer Probandenzahl!), dennoch ist zu erwarten auf Grund der Einheitlichkeit der Betrachtungen, daß die Ergebnisse bzw. die Unterschiede bezüglich des Klimas in den verschiedenen Schuhmaterialien auch bei anderen Probandengruppen auftreten könnten.

In Abhängigkeit der verschiedenen Einflußfaktoren Materialien (Leder, Poromerics, Plain Products) wurden als Signifikanztest verschiedene Testverfahren angewandt. Der DUNCAN-Test bzw. der WILCOXON-Test ergaben hinsichtlich der Temperaturmeßwerte keine signifikanten Unterschiede. Für das Programm wurde der t-Test für korrelierte Stichproben angesetzt [CLAUSS-EBNER 33/217].

Die Frage, ob für diese Signifikanzberechnungen unkorrelierte oder korrelierte Untersuchungsbedingungen vorliegen, war zu klären. Hinsichtlich der Unterschiedlichkeit der Meßzeitpunkte (Testung der einzelnen Bedingungen wie Leder-Leder gegen Leder-Dypor etc. an verschiedenen Tagen) wäre der t-Test für unabhängige Stichproben zu wählen. Infolge Gleichheit der Probandengruppe bei der Testung der einzelnen Bedingungen wird wegen der Wichtung der Einflußfaktoren auf das Meßergebnis der Ansatz für abhängige Stichproben formuliert.

Der t-Test vergleicht zwei Mittelwerte:

Aus zwei normalverteilten Grundgesamtheiten mit gleichen Varianzen wird eine Stichprobe entnommen. Die Stichprobenmittelwerte mögen voneinander abweichen.

Es gibt zwei Möglichkeiten, diese Abweichung zu erklären:

1. Die Mittelwerte sind gleich, der Unterschied zwischen den Stichprobenmittelwerten ist zufällig,
2. die Mittelwerte sind tatsächlich verschieden.

Die Signifikanzschwellen sind abhängig von:

- a) der Variabilität des Merkmals in den Grundgesamtheiten,
- b) dem Umfang der Stichprobe,
- c) dem gewählten Signifikanzniveau.

Bei Überschreitung der Signifikanzschwellen lehnt man, bei gegebener Irrtumswahrscheinlichkeit, im vorliegenden Falle 5 %, die Nullhypothese ab zugunsten der Annahme, daß die Mittelwerte verschieden sind.

Die Mittelwerte $\bar{x}_i$, die Streuungen s_i^2 und die Standardabweichungen s_i wurden nach den allgemein bekannten Formeln berechnet. Die Berechnungsgrundlage für den t-Test für unabhängige Stichproben bei Kenntnis von $\bar{x}_i$ und s_i^2 lautet:

$$t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - n \cdot \bar{d}^2}{n(n-1)}}$$

Dabei symbolisieren:

$\bar{d} = x_1 - x_2 =$ Mittelwert der Mittelwertsdifferenzen

$d_i =$ Differenz der Meßwertepaare

$n =$ Probandenzahl.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse sind in den Tabellen 20 und 21 auszugsweise wiedergegeben.

Das Auswerten der Meßdaten mit EDV geschah unter folgenden Voraussetzungen:

- a) beliebig aber endlich viele Testpersonen wurden unter verschiedenen Bedingungen getestet ;

- b) es liegen Temperatur- und Feuchte-Meßdaten aus a) vor;
- c) die Meßdaten unterliegen gewissen Einschränkungen (Begrenzung der Meßbereiche für Temperatur und Feuchte);
- d) zwischen Temperatur-/Feuchte-Gebern besteht eine Ordnungsrelation, die über Adressen verwirklicht ist;
- e) die Versuchsreihe ist auf einem rechnerüblichen Eingabemedium festgehalten (Lochstreifen Ls, Lochkarten, Magnetband).

Aufgabenstellung:

- a) Es sollen von den Meßdaten Einzel- oder Mittelwertskurven gezeichnet werden (parametrisierbar).
- b) Es sollen beliebig aber endlich viele Stichproben gebildet werden (parametrisierbar).
- c) Auf die erzeugten Stichproben soll die t-(STUDENT)-Verteilung angewendet werden. Es sollen auf Grund der t-Werte Signifikanz-Tabellen gedruckt werden.
- d) Aufgetretene, erkennbare Fehler bei den Meßdaten sollen keinen (wesentlichen) Einfluß auf die Richtigkeit der Ergebnisse haben.

Lösung der gestellten Aufgabe:

Die Lösung wurde gemäß Aufgabenstellung und unter Berücksichtigung der Rechner-Konfiguration am Leibniz-Rechen-Zentrum (TR 440) in drei Hauptprogramme zerlegt.

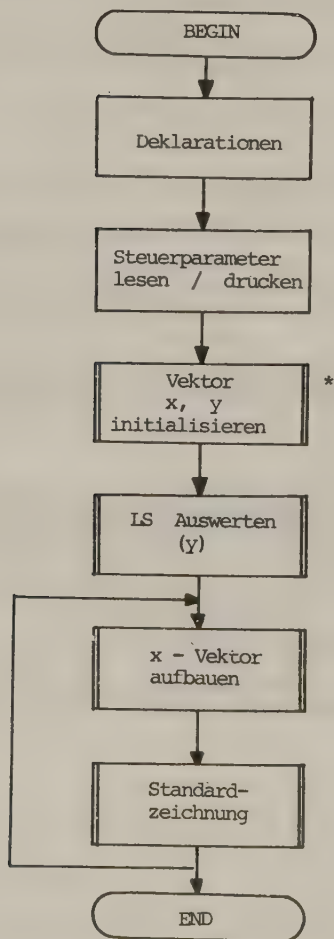
Programm 1: Zeichnen von Mittelwerts-Kurven beliebiger Geber.

Programm 2: Erzeugen beliebiger Stichproben.

Programm 3: Anwendung der t-Verteilung (nach CLAUS-EBNER [33]) auf die Stichproben und Anfertigen von Signifikanz-Tabellen.

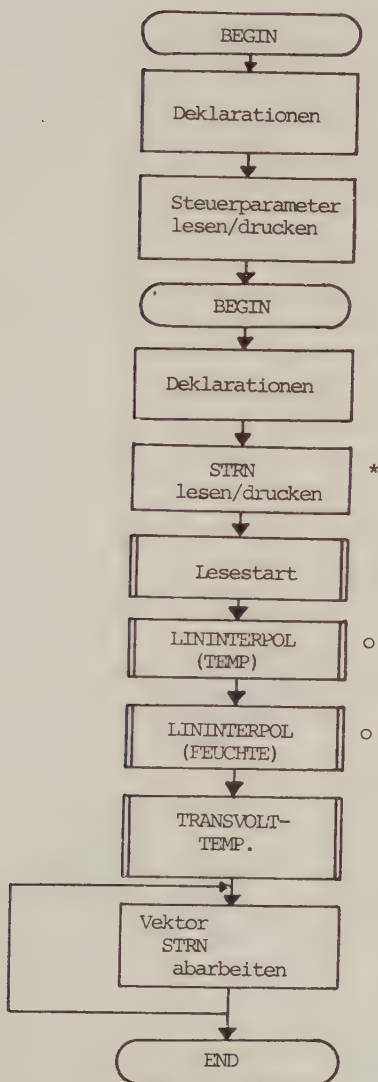
- 100 -
Programmaufbau

Programm 1 Hauptprogramm



* Vektor x, y ist verantwortlich für Aufzeichnung bzw. für Anzahl der Kurven, die pro Bild gezeichnet werden, bzw. wann die Zuordnung Zeitpunkt/Messpunkt zu setzen ist.

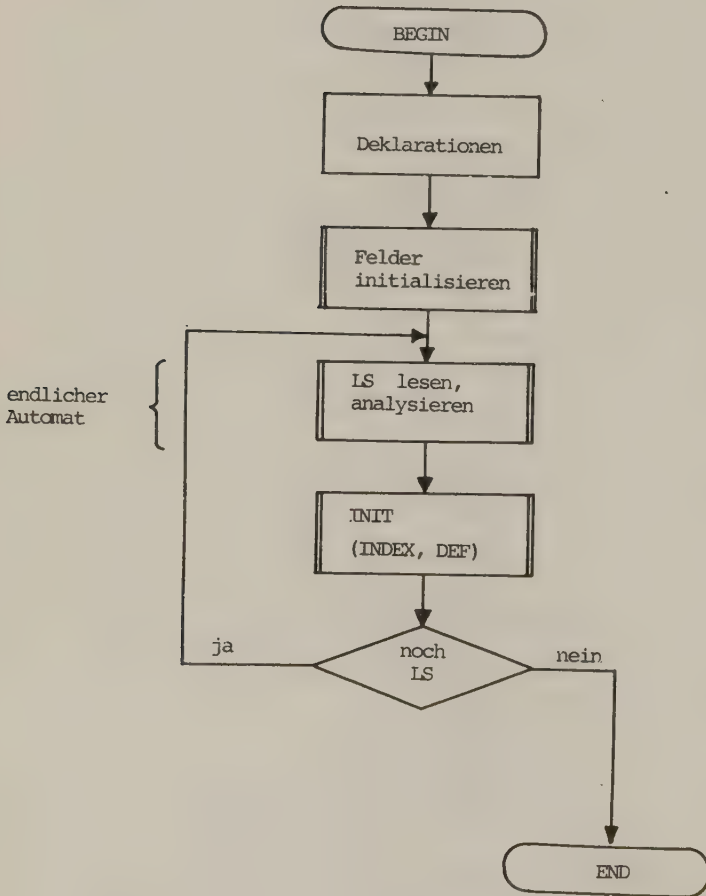
Prozedur LS-Auswerten vom Hauptprogramm



STRN = Struktur-Vektor

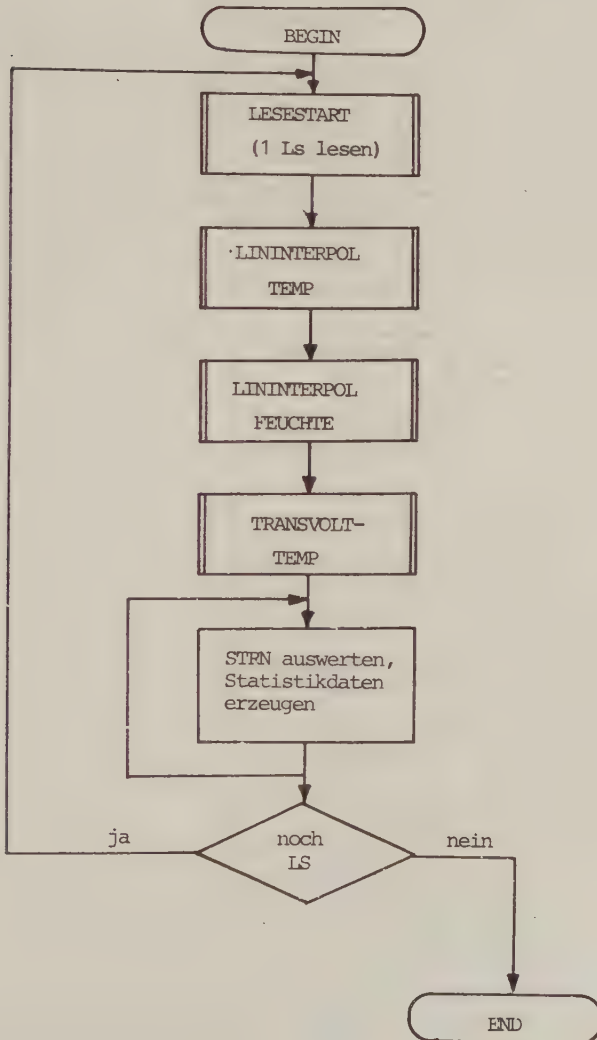
o Glättung = Verbinden der Meßpunkte durch glatte Kurven
im Gegensatz zu Polygonzug.

Prozedur Lesestart (=Kernstück des Programms)



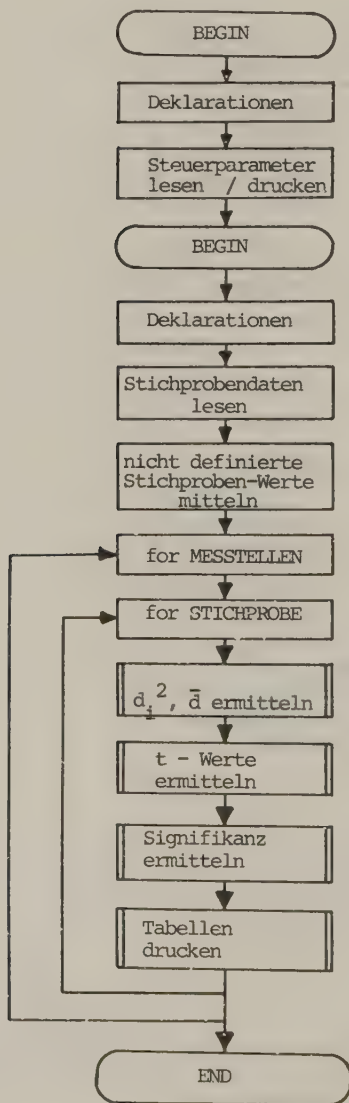
Programm 2

Aufgabe: Erstellung der Statistikdaten



Programm 3

*t-Test und Ausdrücke der
Signifikanz - Tabellen*



Aus Programm 3 (Anwendung der t-Verteilung auf die Stichproben und Anfertigung von Signifikanz-Tabellen) ergaben sich u. a. die Tabellen 20 und 21, für welche folgendes gilt:

Meßstelle: Art des Gebers (f. Temp. oder rel. Feuchte)

Stichprobenpunkt: Meßzeitpunkt

Bedingung 1:	Leder - Leder
2:	Leder - Roy Poreda
3:	Leder - Dypor
4:	Leder - Skiver
5:	Leder - Ceef
6:	Leder ohne Futter
7:	Xylee ohne Futter

MEßSTELLE: 4								
STICHPROBENPUNKT 1:								
BEI:	1	2	3	4	5	6	7	
1		* 5,00	* 1,00	* 5,00	* 12,50	* 5,00	* 12,50	
2	5,00		* 12,50	25,00	25,00	* 25,00	25,00	
3	1,00	12,50		12,50	12,50	5,00	5,00	
4	5,00	* 25,00	* 12,50		* 25,00	* 25,00	25,00	
5	12,50	* 25,00	* 12,50	25,00		* 25,00	25,00	
6	5,00	25,00	* 5,00	25,00	25,00		12,50	
7	12,50	* 25,00	* 5,00	* 25,00	* 25,00	* 12,50		

Abb. 20 Computer-Ausdruck der Signifikanz-Matrix für Meßstelle:
Temp./Rist außen;
Stichprobenpunkt 1: 100. Versuchsminute

MEßSTELLE: 13								
STICHPROBENPUNKT 3:								
BEI:	1	2	3	4	5	6	7	
1		* 0,10	* 2,50	25,00	* 2,50	25,00	* 2,50	
2	0,10		5,00	0,50	25,00	0,10	0,05	
3	2,50	* 5,00		0,10	* 5,00	2,50	12,50	
4	* 25,00	* 0,50	* 0,10		* 0,50	25,00	* 5,00	
5	2,50	* 25,00	5,00	0,50		1,00	5,00	
6	* 25,00	* 0,10	* 2,50	* 25,00	* 1,00		* 1,00	
7	2,50	* 0,05	* 12,50	5,00	* 5,00	1,00		

Abb. 21 Computer-Ausdruck der Signifikanz-Matrix für Meßstelle:
Feuchte/medial;
Stichprobenpunkt 3: 100. Versuchsminute

4.5. Diskussion der Meßergebnisse

Die Auswirkungen des Klimas auf das System Fuß - Strumpf - Schuh wurden durch eine Reihe von Messungen erfaßt und die Ergebnisse in Diagrammen dargestellt (s. Abb. 43 - 54, Kap. 6.). In Abbildung 40 und 41 sind nochmals die mikroklimatischen Verhältnisse an der Meßstelle lateral und Rist zusammengestellt. Die Abbildungen zeigen jeweils die Mittelwertsäulen über 7 Versuchspersonen für die 7 ausgewählten Schuh- bzw. Futtermaterialien.

Auf Grund der vorliegenden Meßergebnisse und auch der physikalischen Daten der Versuchsschuhe wurde unterschieden zwischen

- a) Naturprodukten,
- b) Poromerics,
- c) Plain products.

Materialien der Gruppe a

(box-calf, Bastard-Leder, Skiver)

lassen die insensible Feuchtigkeit ohne weiteres passieren. Auch der in der Gehphase auftretende sensible Schweiß läßt die Feuchtwerte im Schuh kaum über den physiologischen Grenzwert für Behaglichkeit ansteigen. Diese Materialien können zudem die anfallende Feuchtigkeit zwischenspeichern und in Ruhezeiten wieder abgeben, das heißt: Der Schuh kann nach der Belastung wieder ausdünsten und die Feuchtwerte kehren auf das Ausgangsniveau zurück.

Das poromerische Material, Xylee, kann die insensible Feuchtigkeit noch hindurch lassen, in der Belastungsphase jedoch steigen die Feuchtwerte unphysiologisch hoch an. Ein Zurückkehren in der darauffolgenden Ruhephase ist offenbar nicht mehr möglich. Neueste Untersuchungen

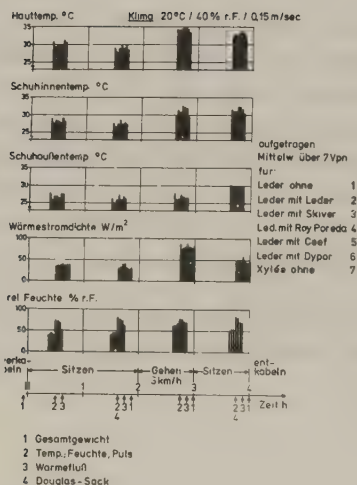


Abb. 40

Meßdaten am Schafft

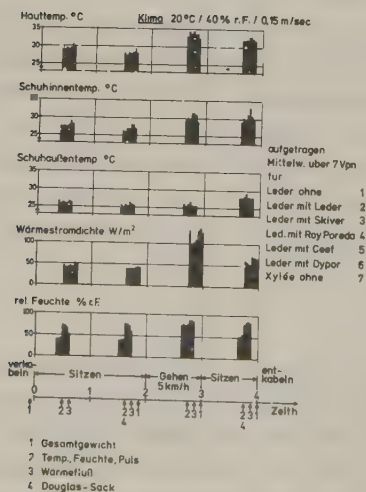


Abb. 41

Meßdaten am Rist

von LANGMAIER [111] in der CSR konnten dies auch bestätigen. Dabei wurden verschiedene Schuhschaftmaterialien in bezug auf ihr Wasserdampfaufnahmevermögen (Sorption) getestet. Der Sorptionsvorgang ist, auch wenn er sich nur zu Beginn bzw. in den ersten Stunden des Tragens (s. Abb. 42) des Schuhwerks auswirkt, gerade deshalb nicht zu vernachlässigen, da, wie schon gezeigt werden konnte, bei den plain-products die relativen Feuchten gleich zu Beginn des Versuches schon unphysiologisch hoch anstiegen und dann auf diesem Niveau blieben. Weil aber die Sorption gerade zu Beginn des Tragens von Schuhen einen merklichen Einfluß auf die Tragehygiene hat, so ist auch diesem Vorgang Beachtung zu schenken.

Die Abb. 42 zeigt, übereinstimmend mit den hier gefundenen Ergebnissen, das weitaus bessere Verhältnis der absorbierten Wasserdampfmenge zur Menge der ausgeschiedenen Feuchtigkeit in Abhängigkeit von der Zeit bei den Naturprodukten.

Ebenso deutlich zeigt sich in Abb. 42 die Zwischenstellung der Poromerics (Xylee) und bestätigt in vollem Umfange die in unseren Versuchen erhaltenen Ergebnisse.

Die plain products verkraften weder die insensible und schon gar nicht die sensible Wasserabgabe. Zum Teil treten bei diesen Materialien in der Gehphase und selbst in der anschließenden Ruhephase noch r. F. von bis zu 100 % auf, wodurch es zu Kondensation von Wasser im Schuh kommt. Die durchgeführten Versuche zeigen sehr deutlich, daß die Futtermaterialien einen sehr großen Einfluß auf die mikroklimatischen Verhältnisse im Schuh haben. Denn über eine Transportstrecke kann nur so viel Flüssigkeit als Wasserdampf transportiert werden, wie die engste Stelle zuläßt, sofern man den Lederschuhschaft in seinen Eigenschaften voraussetzt. Der Engpaß ist das jeweilige Futtermaterial.

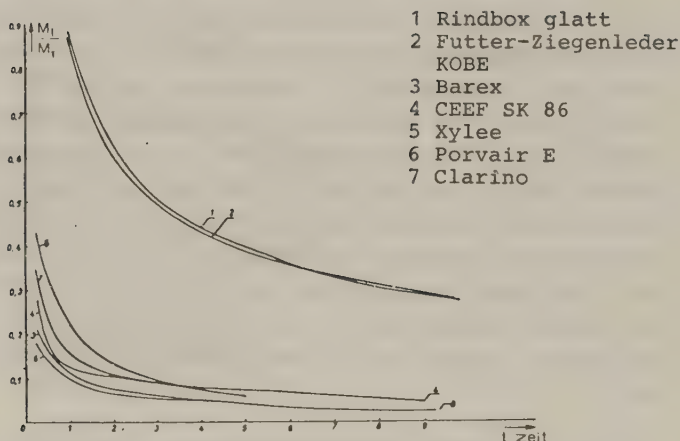


Abb. 42 Zeitliche Abhängigkeit der Wirksamkeit des Sorptionsmechanismus für Wasserdampfabbuhr aus Schuhwerk für einzelne Leder- und Synthetikerzeugnisse [111]

Hinsichtlich der Temperaturgradienten zeigt sich kein materialbedingter Unterschied.

Obwohl die Wärmeleitzahlen λ (s. Tab. 10 Kap. 3.1.) der Materialien zwischen $0.0577 \text{ [kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}]$ bzw. $0.0937 \text{ [W/m} \cdot ^\circ \text{C}]$ für Bastard-Leder und $0.0966 \text{ [kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ \text{C}]$ bzw. $0.1568 \text{ [W/m} \cdot ^\circ \text{C}]$ für das Material Roy Poreda liegen, ändert sich dennoch der gesamte Wärmewiderstand Haut - Umgebung dadurch beim Sitzen nur um maximal 4 %, beim Gehen maximal um 7 %. Änderungen in dieser Größenordnung reichen jedoch nicht aus, um statistisch nachweisbare Effekte zu erhalten (s. Tab. 20, Kap. 4.4.). Es bedarf dazu der Erklärung, daß beispielsweise schon eine Luftschicht von nur 2/10 mm Dicke einen solchen Effekt hervorrufen kann. Derartige Schwankungen können leicht

und jederzeit schon durch verschiedenartige Schnürung des Schuhs, selbst durch Gewichtsverlagerung des Körpers von einem Bein auf das andere hervorgerufen werden. Für die Messung der Wärmestromdichten $[W/m^2]$, die Werte lagen zwischen 83.6 $[W/m^2]$ (Bastard-Leder) und 114.8 $[W/m^2]$ (Roy Poreda), konnten auch wegen der nur gering unterschiedlichen Wärmewiderstände der Schuh- bzw. Futtermaterialien keine charakteristischen Differenzen auftreten. Die dennoch zu Tage tretenden Schwankungen waren durch individuelle, wie auch meßtechnische Einflüsse bedingt.

Ein völlig anderes Bild zeigt sich bei den relativen Feuchten. Wie aus Tabelle 11 (Kap. 3.1.) hervorgeht, liegen die Diffusionsbeiwerte μ der natürlichen Materialien (box-calf 7, Bastard-Leder 8, Skiver 10) um ein Vielfaches unter den μ -Werten der Synthetiks (μ bis 350).

Vergleicht man den Diffusionsbeiwert μ von Bastard-Leder ($\mu = 8$) mit dem Wert des Synthetik-Futters mit dem größten μ ($\mu = 350$), so bedingt dieser große Unterschied eine Änderung des Gesamtwiderstandes Haut - Umgebung beim Sitzen um maximal 60 %, beim Gehen sogar um ca. 700 %. Dementsprechend unterschiedlich stellten sich auch die Feuchtwerte im Schuh ein. Es ergaben sich statistisch nachweisbare, zum Teil hochsignifikante (Irrtumswahrscheinlichkeit $p = 0,05$) Unterschiede (s. Tab. 21, Kap. 4.4.). Hohe μ -Werte bewirken also geringe Feuchteabfuhr durch den Schuh nach außen, so daß die Abführung der anfallenden Schweißmengen nur bei einem steileren Feuchtegradienten, als in vorliegender Untersuchung, von innen nach außen möglich ist, d. h., wenn im Schuh die Feuchten extrem hoch, nämlich nahe der Sättigungsgrenze liegen. Dies hat zur Folge

1. ungenügende Verdunstung,
2. der Effekt ausreichender Kühlung durch Verdunstungswärme entfällt.

Die verbleibende hohe Feuchte im Schuh mit großem Diffusionsbeiwert μ bewirkt eine zunehmende Durchfeuchtung des stratum corneum und führt zu dessen Quellung. Dies könnte wiederum bewirken, daß die Pori der Schweißdrüsenausführungsgänge verengt werden, wodurch der Austrittswiderstand des Schweißsekretes erhöht wird. Es kommt zur Reduzierung der Zahl tätiger Schweißdrüsen und zu verminderter Flüssigkeitsabgabe um ca. 8 % in Syntheschuhen.

Hinzu kommt, daß durch die Quellung der Hornhaut die Wärmeleitfähigkeit der äußeren Hautschichten beträchtlich erhöht wird (λ -Haut trocken 0.18; λ -Haut feucht 0.40 kcal/m·h·°C, gemessen an excidierter Oberhaut [137]).

Dem jetzt dadurch bedingten Wärmeentzug versucht sich der Fuß durch Vasokonstriktion zum Schutz vor zu großer Wärmeabgabe entgegenzustellen. Dieser Mechanismus reicht jedoch nicht aus, da die Verteilung der Kaltrezeptoren in der Fußhaut rel. gering ($3 - 6/\text{cm}^2$) ist, und damit die Empfindung "kalt" cerebral nicht wahrgenommen wird bzw. die zentralen thermoregulatorischen Mechanismen noch nicht in Gang kommen. Außerdem ist der Organismus in der Lage, sich nach einer gewissen Zeitspanne einem veränderten Niveau anzupassen (Adaptation) und als neutral zu empfinden, wodurch es im Bereich der Füße zu einer Unterkühlung kommen kann, es können sich "kalte Füße" einstellen.

Kalte Füße wiederum können für viele Krankheiten die Ursache sein:

Allgemeine Erkältungsbereitschaft der Schleimhäute der Nase, der Nebenhöhlen, des Rachens und der Mandeln; toxische Fernwirkungen auf Herz, Gelenke, Nieren. ABELE [1] weist auf den Zusammenhang zwischen Kaltfuß und Bauchhöhle hin: Der Spasmus des Darmes und seiner An-

hangsdrüsen löst sich erst, wenn die Temperaturverhältnisse des Fußkreislaufes geregelt sind. Spastische Obstipation und Kaltfuß sind kausal gekoppelt.

Chronische Unterkühlung der unteren Extremitäten hemmt die Urinbildung und Urinabsonderung. Die Nieren sind auf Temperaturwechsel äußerst empfindlich. Sie beantworten Kältereize mit Spasmus.

Diese engen Beziehungen zu Niere und Fuß werden auch deutlich, wenn man an Hydro-Therapie (Fußbäder etc.) oder an Akupunktur denkt.

Gerade bei der Akupunktur kommt man nur über den Weg der Fußsohle zur Niere. "Nierenkopfweh" und "Nierenmigräne" lassen sich nur von der Fußsohle aus endgültig ausheilen. Kalte Füße können auch in der Gynäkologie Folgen haben, wie Fluor, Amenorrhoe, Dysmenorrhoe, Pelvipathie, Adnexitis, Salpingitis und Kinderlosigkeit.

Daneben begünstigen unphysiologisch hohe Feuchten im Schuh das Wachstum von Mikroorganismen (s. 2.3.2.). Bei konstant hohen Feuchtwerten, wie sie in Schuhen mit Synthetik-Schaft bzw. Synthetik-Futter auftreten, ist die Möglichkeit, an Fußpilz zu erkranken, besonders hoch.

Das Tragen von Synthetik-Schuhmaterialien kann bleibende Schäden verursachen, besonders bei Kleinkindern. Schon Kinder im 1. und 2. Lebensjahr besitzen die gleiche Anzahl von Schweißdrüsen wie Erwachsene. Dieselbe Anzahl von Schweißdrüsen ist also auf einer bedeutend kleineren Oberfläche schon aktiviert. Durch den oben genannten Mechanismus (Quellung der Hornhaut, Rekrutierung der Schweißdrüsen und Folgen) sind also Kleinkinder besonders gefährdet.

Feuchte Füße führen vermehrt zu Beschwerden, wie Druck-Scheuerstellen und auch Hühneraugen.

4.6. Praktische Anwendbarkeit dieser Erkenntnisse in der Schuhherstellung

Betrachtet man nun die Gesamtheit der untersuchten Materialien in bezug auf ihre thermophysiologischen Funktionen, so kann streng genommen nur die Gruppe der Naturprodukte diese Funktionen erfüllen.

Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß auch die Poromerics noch befriedigende Werte aufweisen, jedoch nur bei geringer (insensibler) Hautwasserabgabe, nicht aber bei stärkerer Belastung (Gehen 5 km/h) und damit anfallender sensibler Wasserabgabe.

Die plain-products können genannte thermophysiologische Forderungen besonders hinsichtlich des Feuchteabtransportes in keiner Weise erfüllen, da hier schon bei geringer Belastung die Feuchtwerte derart in die Höhe gehen und keine Aussicht besteht, daß die Schuhinnenfeuchte innerhalb einiger Stunden auf niedrigere Werte zurückkehrt.

Solange jedoch diese von thermoregulatorischer Seite unzureichenden Eigenschaften nicht wesentlich verbessert werden bzw. verbessert werden können, soll gefordert werden:

1. Sämtliche Schuhmaterialien (Schaft, Futter, Boden) insgesamt sind so zu gestalten, daß bei der jeweiligen Situation (Sitzen, Gehen etc.) anfallende Feuchten und Temperaturen abgeführt werden können, so daß eine mittlere Fußhauttemperatur im Bereich zwischen 28 und 32° C und eine Feuchte < 65 % verbleibt.
2. Der Schnitt der Schuhmaterialien ist so zu gestalten, daß es nicht zu Druck im Schuh kommt und eine ausreichende Ventilation sichergestellt ist.

Ist das Schuhwerk zu eng, wird die Ventilation über den oberen Schuhrand gering und außerdem kommt es durch erhöhte Druckerzeugung auf die Thermorezeptoren und auf thermosensitive freie Nervenendigungen zu einer nichtadäquaten Kalttempfindung und Minderdurchblutung.

3. Eventuell die Dicke der Oberbaumaterialien noch zu verringern bei den synthetischen Materialien. Wenn dies nicht möglich ist, sollte man sich die Saugfähigkeit eines Naturfaserfutters (Lederspalt allein oder kombiniert mit zusätzlichem Baumwollfutter) als kurzfristigen Puffer zunutze machen und anwenden.
4. Synthetische Materialien für den Schuhbau nicht nur nach Preis, Verarbeitung und Aussehen, sondern vor allem hinsichtlich Tragekomfort und Tragehygiene zu beurteilen. Dies ist eine Frage genügender Verbraucheraufklärung.
5. Zur Verarbeitung von größeren geschlossenen Flächen Materialien, deren Diffusionsbeiwert kleiner als 60 (s. Tab. 11, Kap. 3.1.) ist, nicht zu verwenden. Zudem ist dafür zu sorgen, daß Schaft mit Futter, Brandsohle mit Laufsohle nicht flächenmäßig voll verklebt werden, sondern es sollte eine Punkt- oder Streifenklebung erfolgen.
6. Eher auf modische Effekte durch Finish oder Lackbeschichtung zu verzichten und damit das gute Wasserdampfdurchtritts- und Sorptionsvermögen beim Schuh aus Naturprodukten aufrecht zu erhalten bzw. noch zu verbessern.
7. Wenn es nötig ist, die Isolation beim Lederschuh zu erhöhen (durch dickere Lederschicht, Wasserundurchlässigkeit und Durchfettung), sollte ein Lederfutter verwendet werden, das für eine ausreichende Wasserdampfaufnahme sorgen kann.

Diese Forderungen aus physiologischer Sicht müßten ein Anliegen der gesamten Schuhbranche sein.

5. Zusammenfassung

In zahlreichen Vor- und Hauptversuchen und aufbauend auf früheren Untersuchungen [45, 46, 47, 133] wurde in Erfahrung gebracht, inwieweit Schuhe mit verschiedenen Schaftmaterialien bzw. Schuhe mit verschiedenen Futtermaterialien aber gleichem Schaftmaterial physiologisch erfaßbare Einflüsse auf den Menschen haben. Mit 7 Versuchspersonen wurden 7 verschiedene Schuhmaterialien (box-calf, Xylee, Bastard-Leder, Skiver, Roy Poreda, Dypor, Ceef) in bezug auf Temperatur und Feuchte während mentaler Belastung, wie auch während Arbeit (Gehen 5 km/h) getestet.

Die Probanden wurden hinsichtlich Größe, Gewicht, Schuhgröße, Beinlänge, Alter, Lebensrhythmus einheitlich ausgewählt und trugen während der Versuche gleiche Kleidung; die Versuche wurden in einer Klimakammer (20° C, 40 % r. F., 0,15 m/s Luftbewegung) durchgeführt. Damit konnte der Einfluß unerwünschter exogener wie endogener Faktoren auf ein Minimum beschränkt werden.

Mit selbstgefertigten Miniatur-Thermoelementen wurden an verschiedenen Stellen (s. Tab. 12) fortlaufend die Temperaturen erfaßt, ebenso die rel. Feuchten, die mit Feuchtefühlern im medialen Gewölbe und auf dem Fußrücken angebracht waren. Parallel dazu wurden zu bestimmten Zeiten registriert: Herzfrequenz, Schweißdrüsenaktivität, Gewicht, Energieumsatz und Wärmefluß.

Temperatur- und Feuchte-meßwerte wurden aufgezeichnet und in eine elektronische Rechenanlage zur statistischen Absicherung eingegeben und graphisch dargestellt.

Das Ergebnis zeigte, daß hinsichtlich der Temperaturen zwischen den einzelnen Materialien keine stat. signifikanten Unterschiede vorlagen.

Bei den relativen Feuchten (r. F.) dagegen ergaben sich z. T. statistisch hochsignifikante (IWS $p = 0,05$) Unterschiede zwischen den natürlichen und den synthetischen Materialien. Die r. F. im Lederschuh (box-calf, Bastard-Futter, Skiver) lagen nach 100 Minuten bei 37.5 - 40 % r. F. am Rist, medial zwischen 41 und 48 % r. F., nach 180 Min. am Rist bei 71 - 73 % r. F., medial bei 61 - 64 % r. F., nach 240 Min. am Rist bei 52 - 56.5 r. F., medial bei 51 - 53 % r. F.; die Poromeric (Xylee) hatten am Rist diese Werte: 60 %, 80 %, 81.5 % r. F.. Medial: 68 %, 67 %, 67.5 % r. F.. Bei den plain-products (Ceef, Dypor, Roy Poreda) ergaben sich noch höhere Werte: Am Rist: bis 79 % nach 100 Min., nach 180 Min. zwischen 78.5 und 80.5 % r. F., nach 240 Min. noch zwischen 79 und 83.5 % r. F.. Medial ergaben sich r. F. zwischen 76.5 und 85 %, zwischen 68 und 79 %, bzw. zwischen 72 und 83.5 % r. F..

Alle Ergebnisse wurden varianzanalytisch abgesichert.

6. A N H A N G

Vp 2		1				
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.		2	1.Tag (714Torr)		2.Tag (717Torr)	
			Sitzen	Gehen	Sitzen	Gehen
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	21,0		20,746	20,808
	M ₂	4	20,771		20,147	19,988
	M ₃	5	16,653		16,410	16,591
	% CO ₂	6	1,0905		2,8873	3,9408
	% O ₂	7	19,6095		18,0131	16,3255
	% eff.CO ₂	8	0,9009		2,6977	3,7512
	% eff.O ₂	9	1,2618		2,8582	4,5458
RQ	(10) = $\frac{(8)}{(9)}$	10	0,7139		0,9438	0,8252
SKÄ	[kcal/l O ₂]	11	4,6945		4,9778	4,8316
AMV (gemessen)	[l]	12		19,2	12,0	20,0
AMV (STPD)	[l]	13		16,3910	10,2888	17,1480
O ₂ -Verbrauch	[l/min] (14) = (13) · (9)	14			0,2941	0,7795
EU	[kcal/h] (15) = (11) · (14) · 60	15			87,8388	225,9739
EU	[Watt] (16) = (15) · 1.1624	16			102,1032	262,6721

Werte zur Energieumsatzbestimmung

Vp 3		1				
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.		2	1.Tag (722Torr) Sitzen Gehen		2.Tag (714Torr) Sitzen Gehen	
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	21,172	22,102	21,619	20,897
	M ₂	4	20,542	21,166	20,912	20,028
	M ₃	5	16,802	17,638	17,187	16,708
	% CO ₂	6	2,9756	4,2349	3,2703	4,1585
	% O ₂	7	17,6648	15,9624	17,2302	15,8874
	% eff.CO ₂	8	2,786	4,0453	3,0807	3,0689
	% eff.O ₂	9	3,2065	4,9089	3,6411	4,9839
RQ (10) = $\frac{(8)}{(9)}$		10	0,8689	0,8241	0,8461	0,7963
SKÄ [kcal/l O ₂]		11	4,8855	4,8303	4,8574	4,7960
AMV (gemessen) [l]		12	5,0	12,5	5,8	15,9
AMV (STPD) [l]		13	4,3175	10,7938	4,9515	13,5738
O ₂ -Verbrauch [l/min] (14) = (13) · (9)		14	0,1384	0,5299	0,1803	0,6765
EU [kcal/h] (15) = (11) · (14) · 60		15	40,5692	153,5746	52,5474	194,6696
EU [Watt] (16) = (15) · 1,1624		16	47,1576	178,5151	61,0811	226,2839

Werte zur Energieumsatzbestimmung

Vp 4	1					
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.	2	1.Tag (722Torr)		2.Tag (714Torr)		
		Sitzen	Gehen	Sitzen	Gehen	
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	20,788	21,172	20,855	20,864
	M ₂	4	20,112	20,161	20,200	19,905
	M ₃	5	16,502	16,918	16,596	16,710
	% CO ₂	6	3,2519	4,7752	3,1407	4,5964
	% O ₂	7	17,3658	15,3174	17,2812	15,3135
	% eff.CO ₂	8	3,0623	4,5856	2,9511	4,4068
	% eff.O ₂	9	3,5055	5,5539	3,5901	5,5578
RQ (10)= $\frac{(8)}{(9)}$	10	0,8736	0,8257	0,8220	0,7929	
SKÄ [kcal/l O ₂]	11	4,8913	4,8323	4,8277	4,7919	
AMV (gemessen) [l]	12	5,2	17,9	6,25	14,6	
AMV (STPD) [l]	13	4,4902	15,4567	5,3356	12,4640	
O ₂ -Verbrauch[l/min] (14)=(13)·(9)	14	0,1574	0,8584	0,1916	0,6927	
EU [kcal/h] (15)=(11)·(14)·60	15	46,1934	248,8828	55,4992	199,1609	
EU [Watt] (16)=(15)·1,1624	16	53,6952	289,3014	64,5123	231,5046	

Werte zur Energieumsatzbestimmung

Vp 5		1				
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.		2	1.Tag (718Torr)		2.Tag (717Torr)	
			Sitzen	Gehen	Sitzen	Gehen
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	21,446	21,220	22,674	21,163
	M ₂	4	20,857	20,294	21,916	20,214
	M ₃	5	17,004	16,976	17,993	16,888
	% CO ₂	6	2,7464	4,3638	3,3430	4,4842
	% O ₂	7	17,9661	15,6362	17,3018	15,7161
	% eff.CO ₂	8	2,5568	4,1742	3,1534	4,2946
	% eff.O ₂	9	2,9052	5,2351	3,5695	5,1552
RQ	(10) = $\frac{(8)}{(9)}$	10	0,8801	0,7973	0,8834	0,8331
SKÄ	[kcal/l O ₂]	11	4,8993	4,7973	4,9033	4,8414
AMV (gemessen)	[l]	12	9,4	16,74	8,75	17,0
AMV (STPD)	[l]	13	8,0708	14,3729	7,5023	14,5758
O ₂ -Verbrauch	[l/min] (14) = (13) · (9)	14	0,2345	0,7524	0,2678	0,7514
EU	[kcal/h] (15) = (11) · (14) · 60	15	68,9332	216,5693	78,7862	218,2697
EU	[Watt] (16) = (15) · 1,1624	16	80,1279	251,7402	91,5811	253,7167

Werte zur Energieumsatzbestimmung

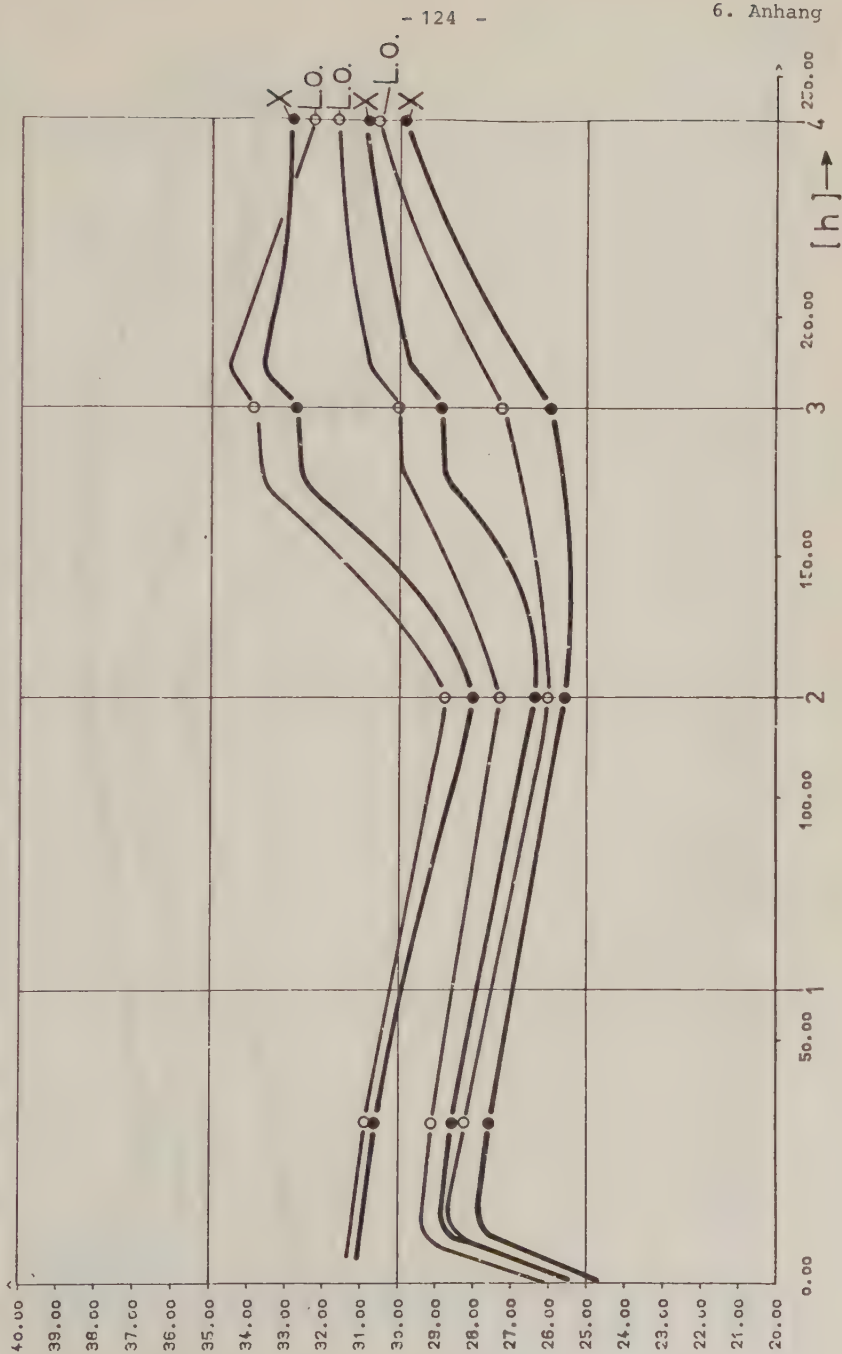
Vp 6	1				
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.	2	1.Tag (718 Torr)		2.Tag (717Torr)	
		Sitzen	Gehen	Sitzen	Gehen
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	21,946	21,252	21,521
	M ₂	4	20,247	20,369	20,840
	M ₃	5	17,502	17,050	17,120
	% CO ₂	6	7,7417	4,1549	3,1643
	% O ₂	7	12,5079	15,6173	17,2854
	% eff.CO ₂	8	7,5521	3,9653	2,9747
	% eff.O ₂	9	8,3634	5,2540	3,5859
RQ (10) = $\frac{(8)}{(9)}$	10	0,9029	0,7547	0,8295	0,8627
SKÄ [kcal/l O ₂]	11	4,9274	4,7448	4,8369	4,8778
AMV (gemessen) [l]	12	6,8	16,8	6,38	17,4
AMV (STPD) [l]	13	5,8303	14,4245	5,4702	14,9188
O ₂ -Verbrauch [l/min] (14) = (13) · (9)	14	0,4876	0,7579	0,1962	0,6493
EU [kcal/h] (15) = (11) · (14) · 60	15	144,1560	215,7650	56,9399	190,0293
EU [Watt] (16) = (15) · 1,1624	16	167,5669	250,8053	66,1869	220,8901

Werte zur Energieumsatzbestimmung

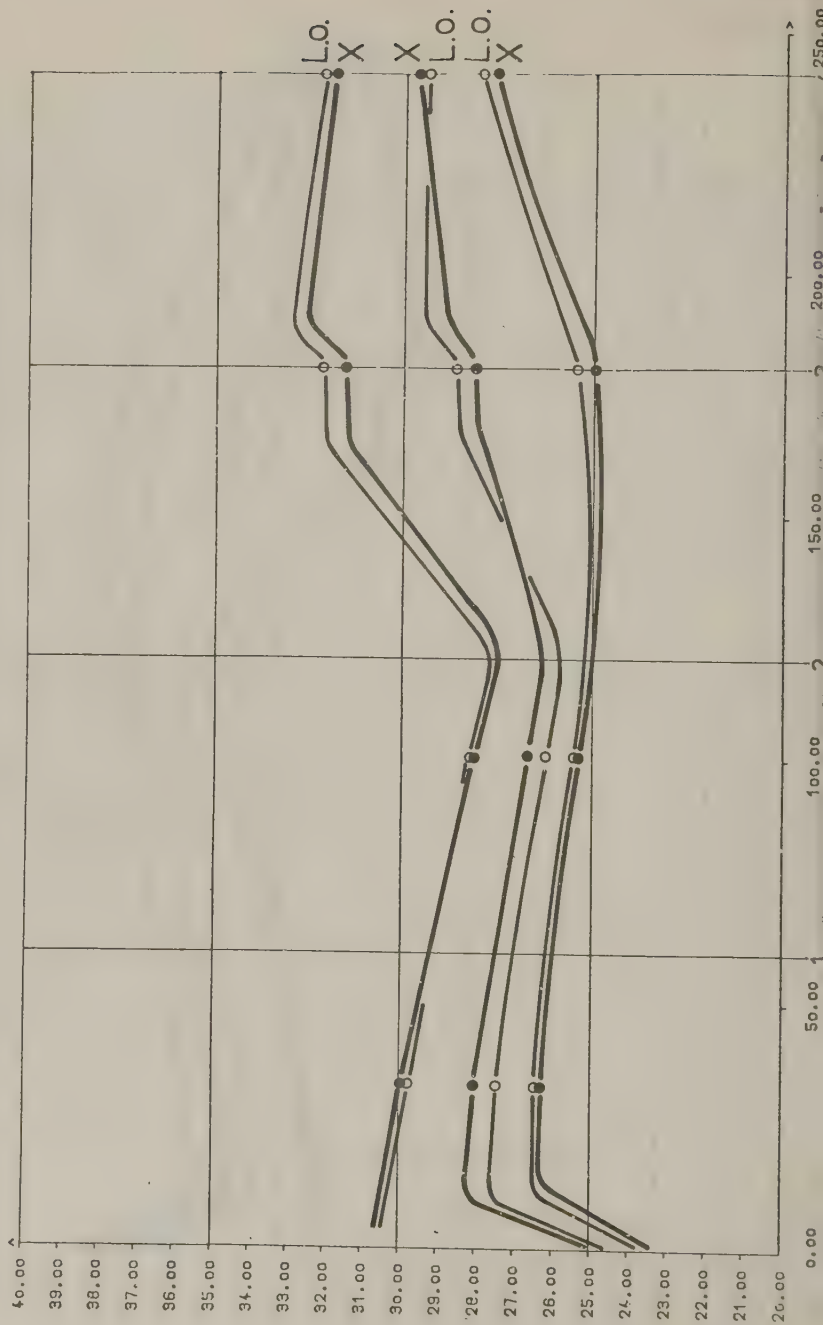
Vp	7	1				
Meßzeitpunkt: Sitzen: 120.Min. Gehen: 180.Min.		2	1.Tag (719Torr)		2.Tag (719Torr)	
			Sitzen	Gehen	Sitzen	Gehen
Gasanalyse nach SCHOLANDER aus Versuchsprobe	M ₁	3	20,716	20,980	21,722	20,755
	M ₂	4	19,938	20,030	20,890	19,788
	M ₃	5	16,481	16,735	17,360	16,640
	% CO ₂	6	3,7556	4,5281	3,8302	4,6591
	% O ₂	7	16,6876	15,7054	16,2508	15,1674
	% eff.CO ₂	8	3,566	4,3385	3,6406	4,4695
	% eff.O ₂	9	4,1837	5,1659	4,6205	5,7039
RQ	(10) = $\frac{(8)}{(9)}$	10	0,8524	0,8398	0,7879	0,7836
SKÄ	[kcal/l O ₂]	11	4,8652	4,8496	4,7857	4,7804
AMV (gemessen)	[l]	12	6,7	17,0	6,1	15,2
AMV (STPD)	[l]	13	5,7613	14,6183	5,2454	13,0705
O ₂ -Verbrauch	[l/min] (14) = (13) · (9)	14	0,2410	0,7552	0,2424	0,7455
EU	[kcal/h] (15) = (11) · (14) · 60	15	70,3508	219,7451	69,6032	213,8273
EU	[Watt] (16) = (15) · 1.1624	16	81,7758	255,4317	80,9068	248,5529

Werte zur Energieumsatzbestimmung

XYLÉE / LEDER ohne GRADIENT LATERAL 7 VERSUCHSPERSONEN
X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-TEMPERATUR III GRAD CELSIUS

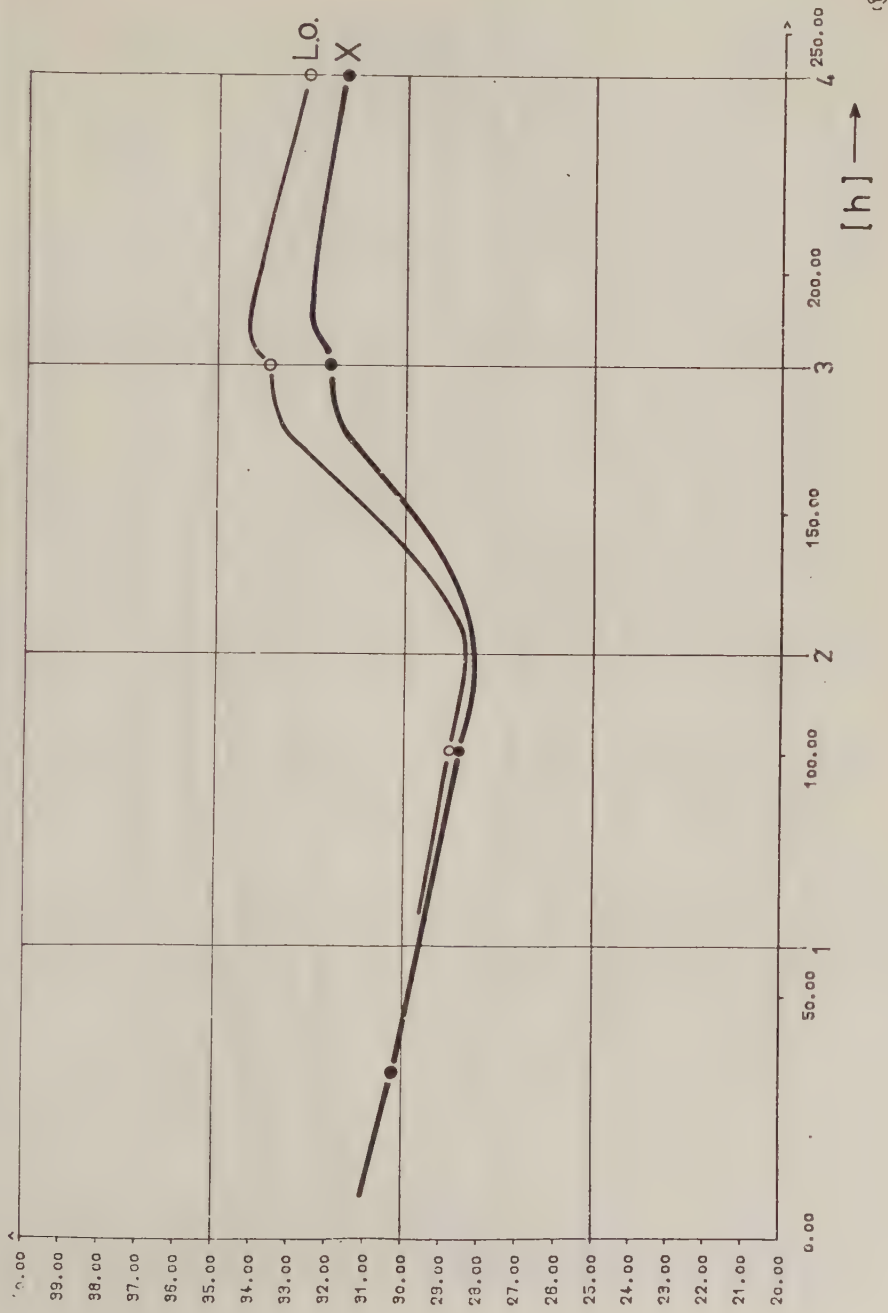


XYLÉE / LEDER ohne GRADIENT RIST 7 VERSUCHSPERSONEN
X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-TEMPERATUR IN GRAD CELSIUS

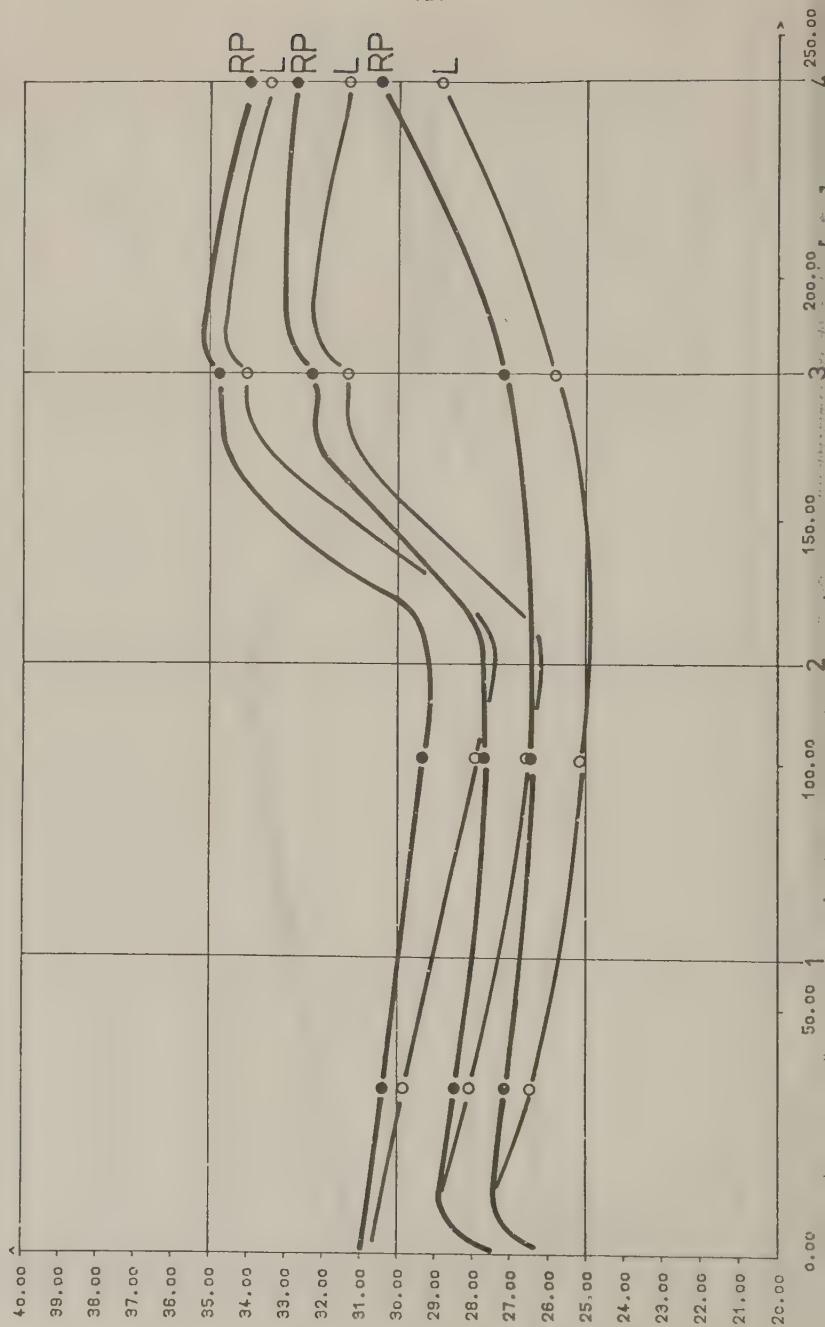


XYLEE / LEDER OHNE SOHLE

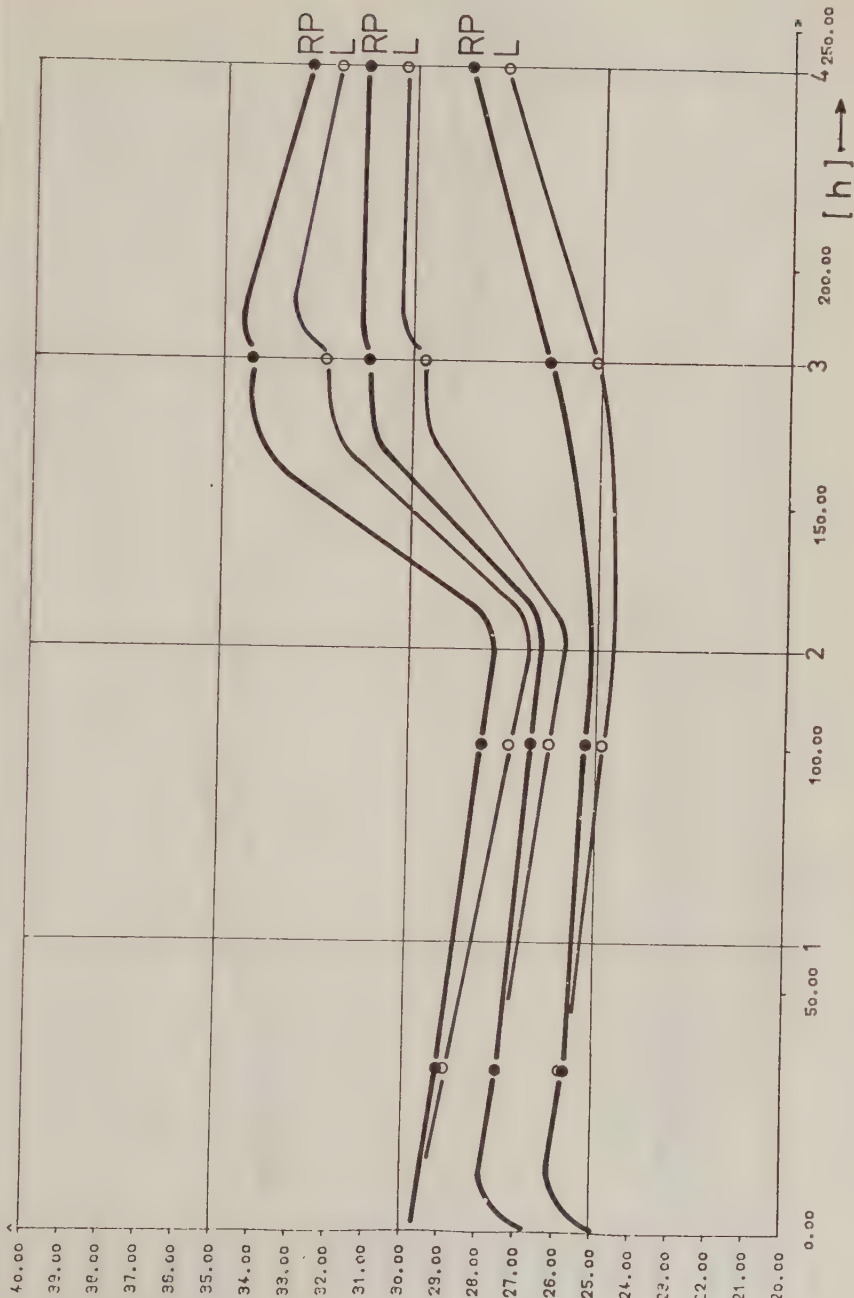
X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-TEMPERATUR IN GRAD CELSIUS



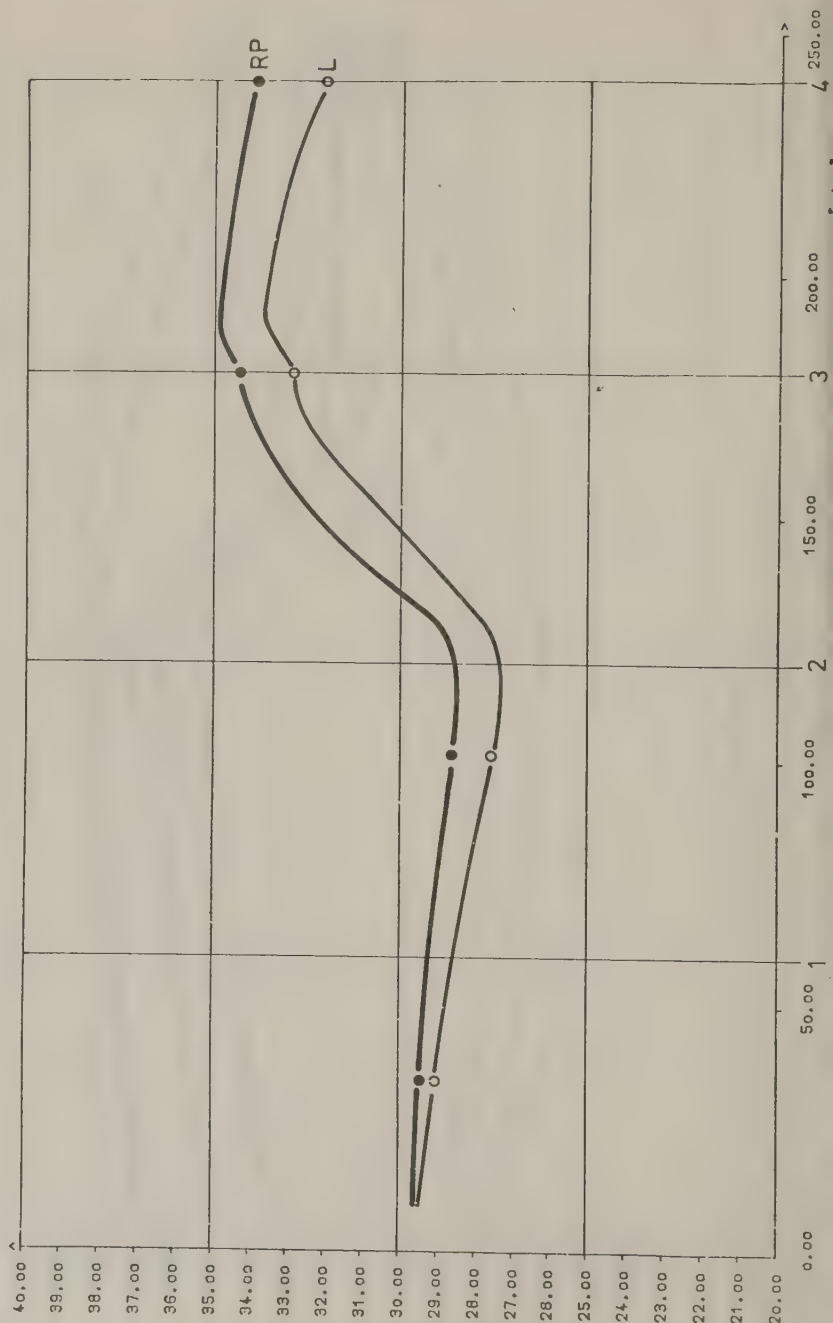
LEDER-ROY POREDA/LEDER-LEDER GRADIENT LATERAL 7 VERSUCHSPERSONEN
 X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-TEMPERATUR IN GRAD CELSIUS



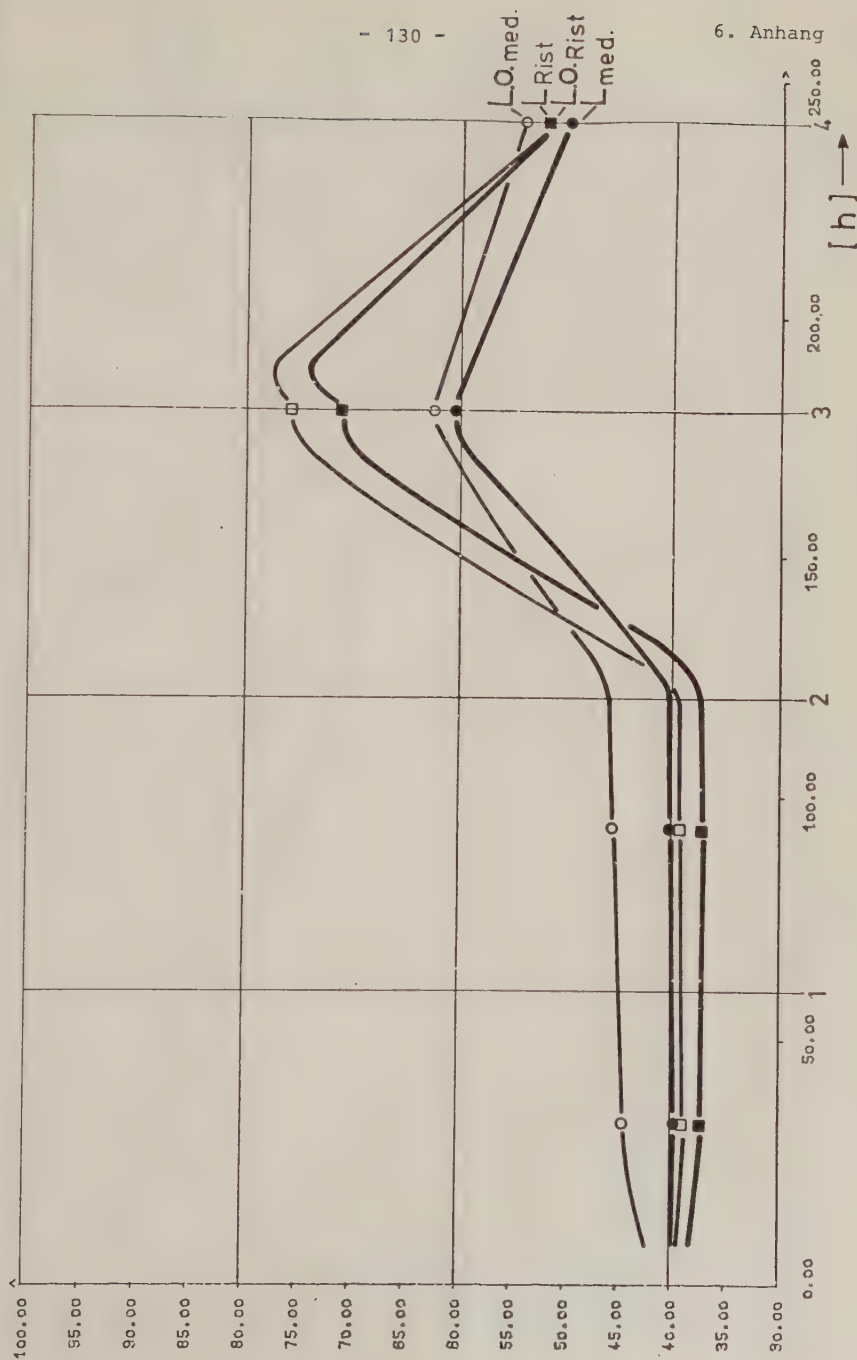
LEDER-ROY POREDA/LEDER-LEDER, GRADIENT RIST 7 VERSUCHSPERSONEN
 X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-TEMPERATUR IN GRAD CELSIUS



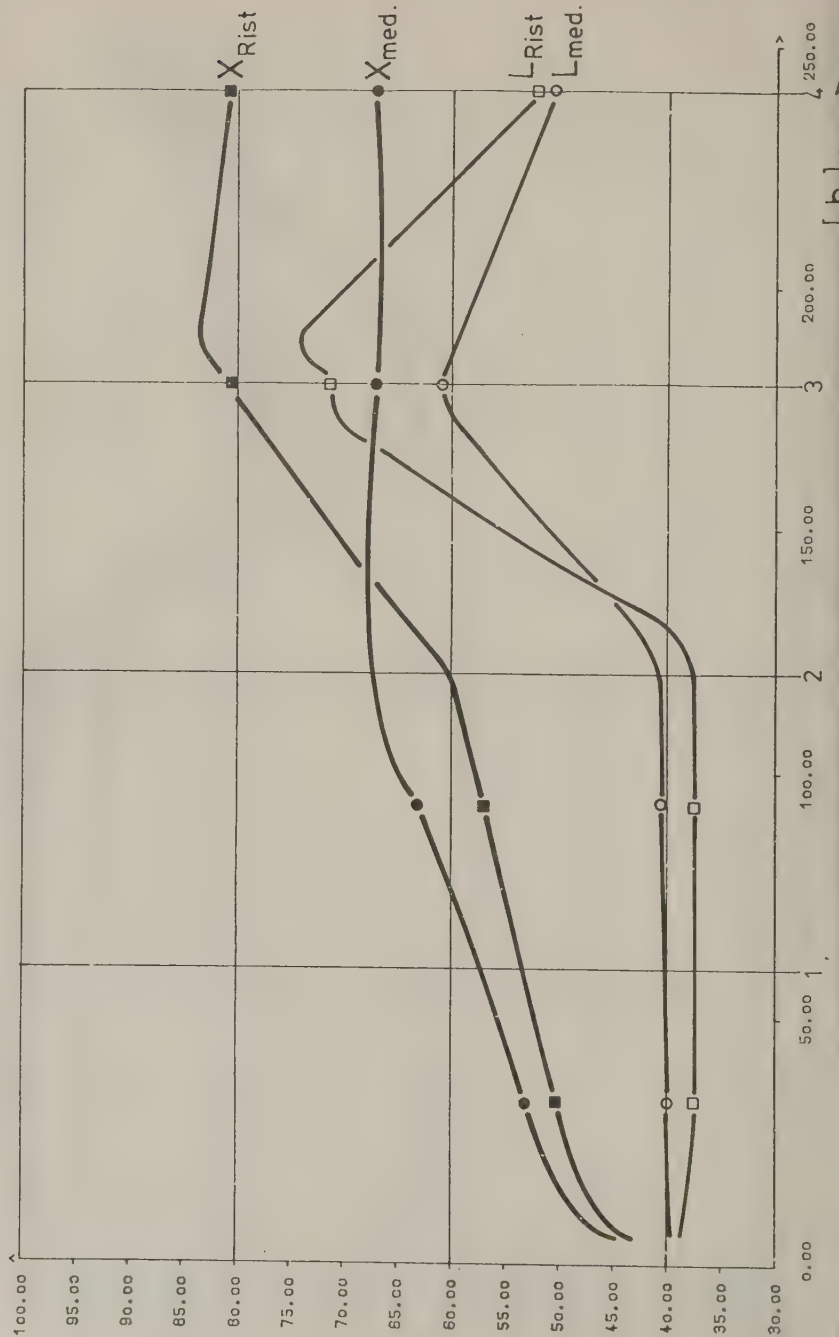
LEDER-ROY POREDA / LEDER LEDER SOHLE X-ACHSE=RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE=TEMPERATUR IN GRAD CELSIUS



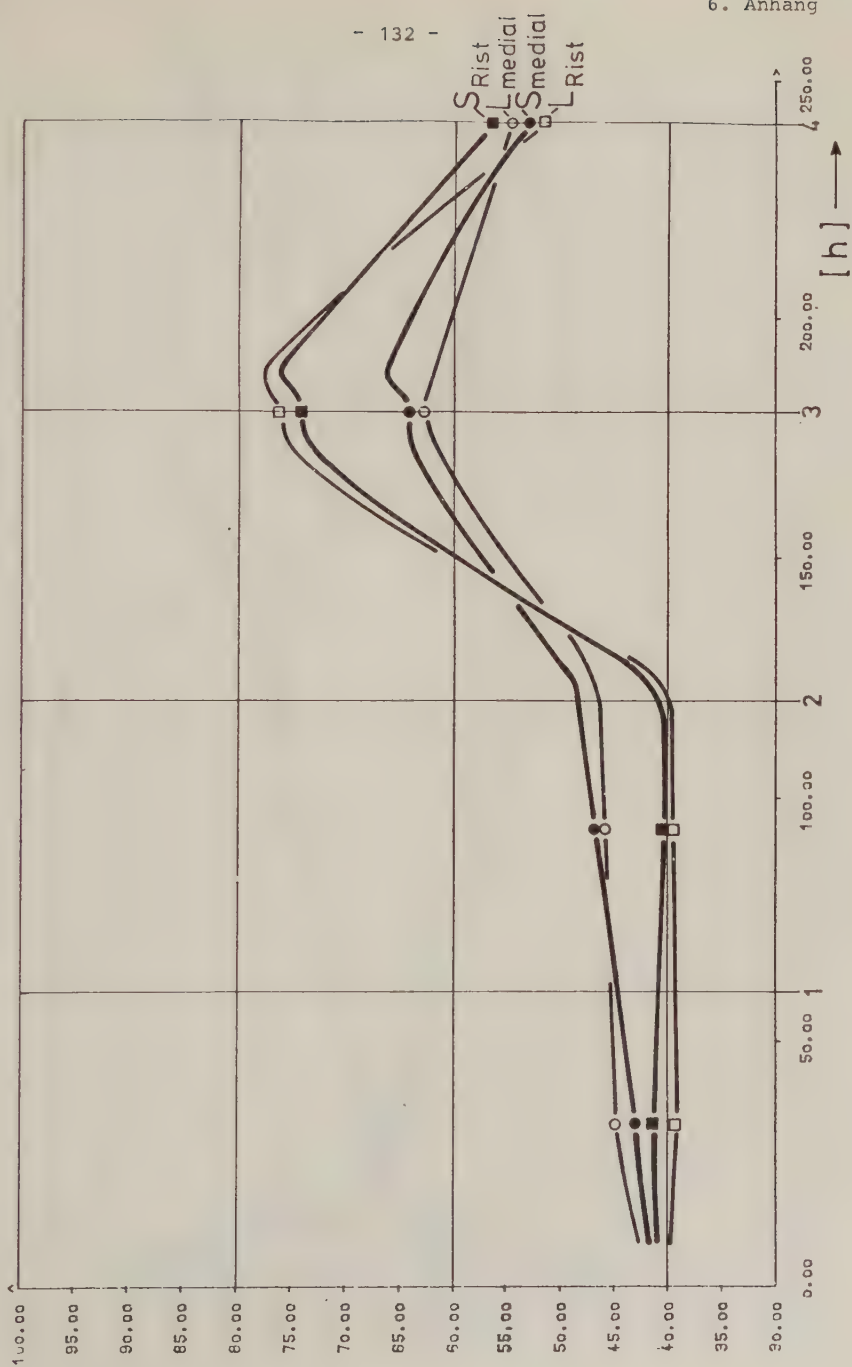
LEDER-LEDER/LEDER OHNE, RIST, MEDIAL 7 VERSUCHSPERSONEN
X-ACHSE=RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE=RELATIVE FEUCHTE IN PROZENT



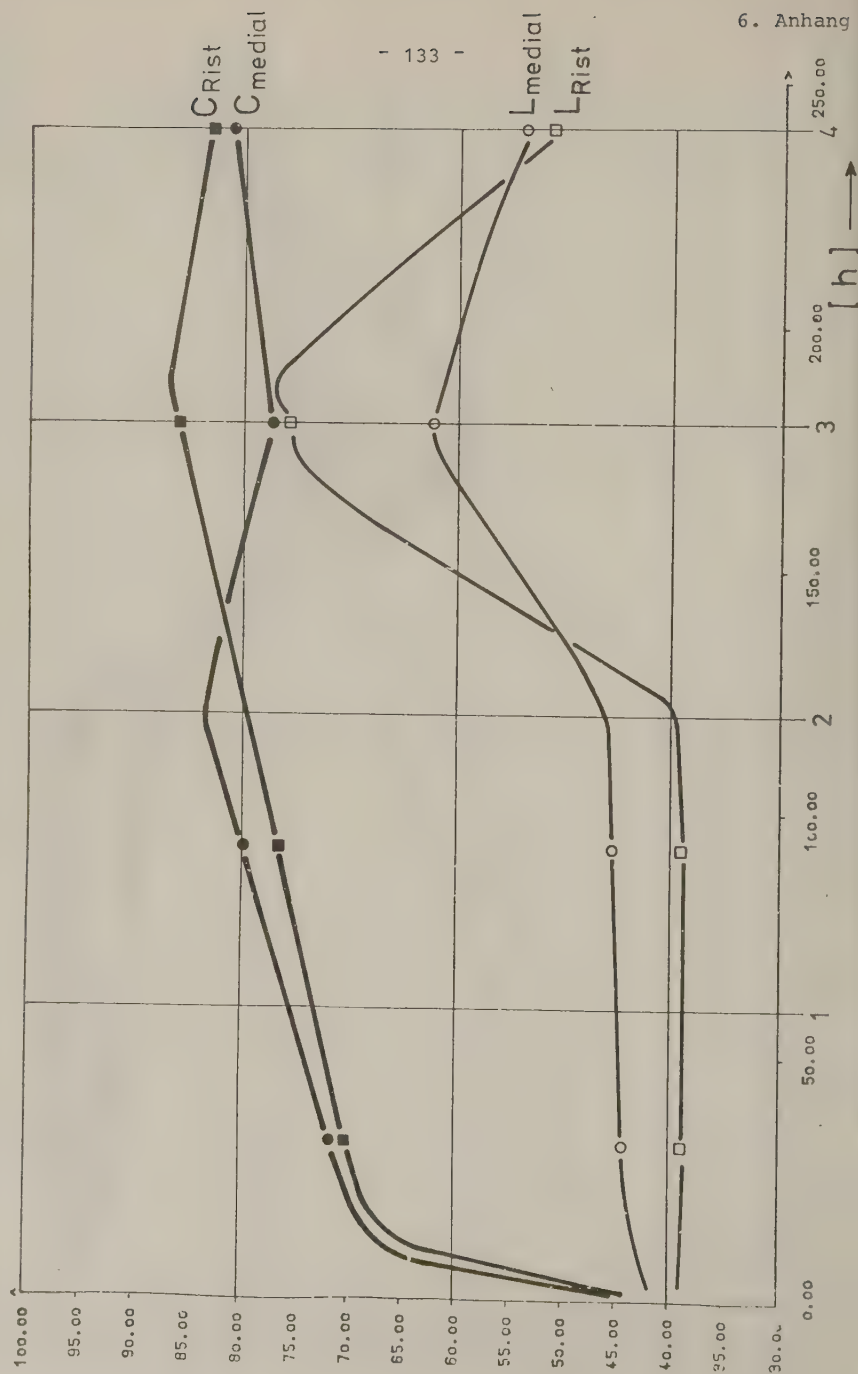
XYLEE / LEDER OHNE RIST, MEDIAL 7 VERSUCHSPERSONEN
 X-ACHSE=RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE=RELATIVE FEUCHTE IN PROZENT



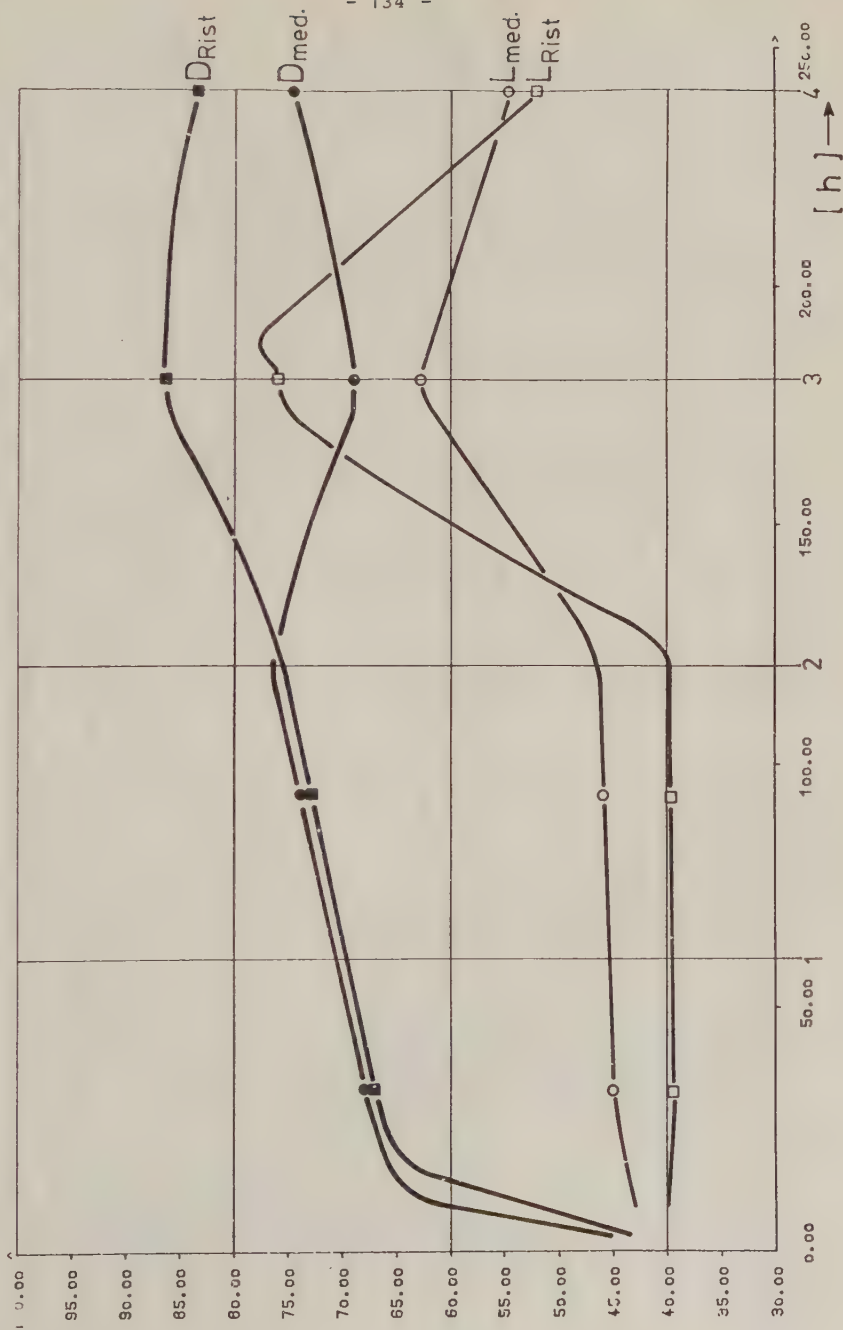
LEDER-SKIVER/LEDER-LEDER RIST, MEDIAL 7 VERSUCHSPERSONEN
X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-RELATIVE FEUCHTE IN PROZENT



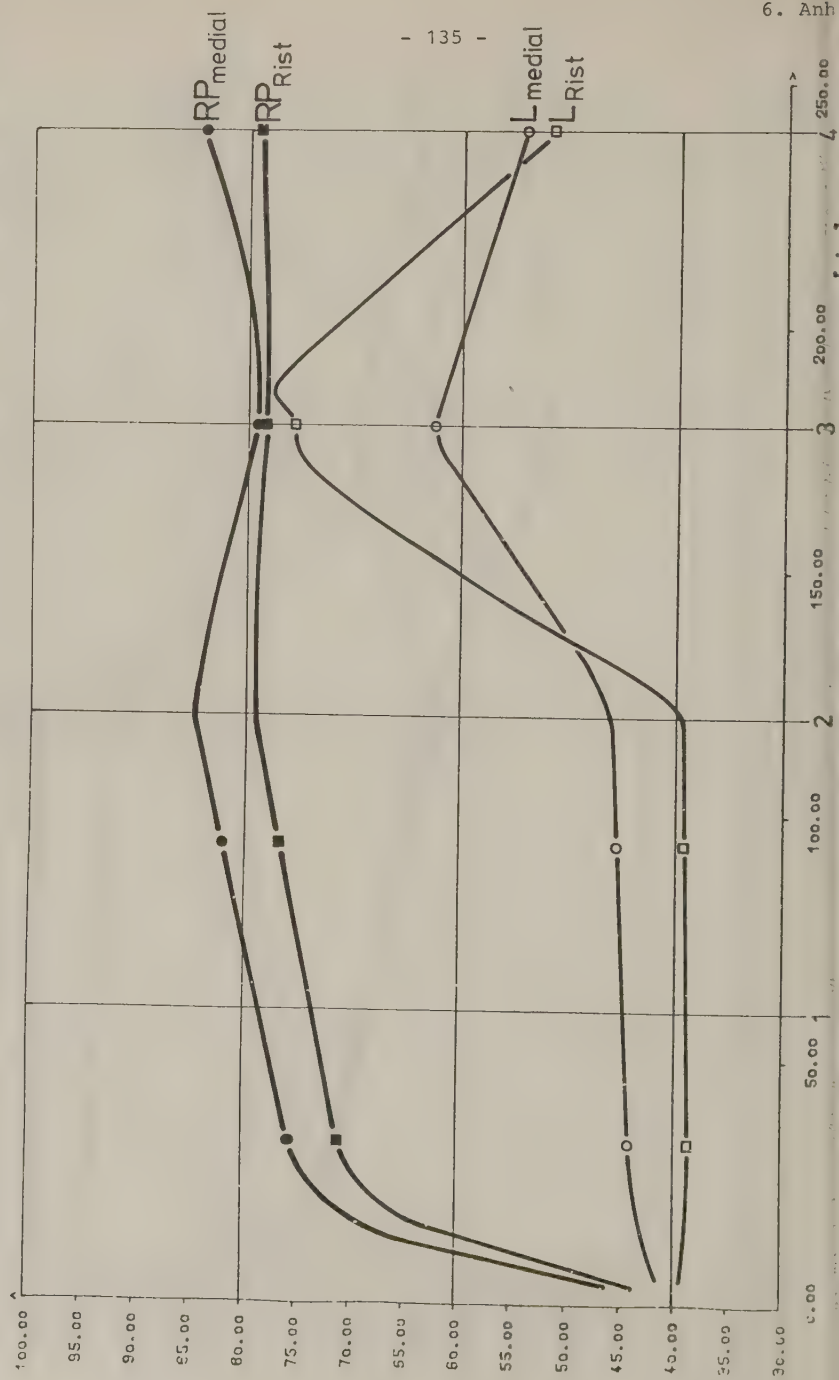
LEDER-CEEF / LEDER-LEDER RIST, MEDIAL 7 VERSUCHSPERSONEN
X-ACHSE-RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE-RELATIVE FEUCHTE IN PROZENT



LEDER-DYPOR / LEDER-LEDER, RIST, MEDIAL 7 VERSUCHSPERSONEN
X-ACHSE=RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE=RELATIVE FEUCHTE IN PROZENT



LEDER-ROY POREDAVLEDER-LEDER, RIST, MEDIAL 7 VERSUCHSPERSONEN
 X-ACHSE=RELATIVZEIT IN MINUTEN, Y-ACHSE=RELATIVE FEUCHTE IN PROZENT



7. Literaturverzeichnis

Zitierweise im Text:

Der Klammerausdruck [/] enthält als erste Zahl die Nummer des Literaturwerks im Literaturverzeichnis; die zweite Zahl gibt die Seite der zitierten Stelle in diesem Werk an.

- [1] ABELE, U.:
Erfahrungen aus der Praxis, über zweckmäßige Fußbekleidung. Ärztl. Praxis XII, H. 28, 1513 ff. (1960).
- [2] ABERHALDEN, R.:
zit. in: dtv-Lex. d. Physik Bd. 10, S. 61.
München: Deutscher Taschenbuch-Verlag 1971.
- [3] ABRAMSON, D.J.:
Circulation in the extremities. New York: Academic Press 1967.
- [4] ALBARRACIN, N. S., W. S. PATTERSON, N. D. HAUST:
Obstet. Gynec. 30, 838 (1967).
- [5] ALBERS, C., O LUDWIG:
Kybernetische Aspekte der Wärmetachypnoe. Sonderdruck aus "Kybernetik", Bd. 4, Heft 3, 104 - 111 (1968).
Berlin - Heidelberg - New York: Springer 1968.
- [6] ASCHOFF, J.:
Temperaturregulation, 43 - 116 in: ASCHOFF, J., GÜNTHER, B. und K. KRAMER: Energiehaushalt und Temperaturregulation. Aus: GAUER, KRAMER, JUNG: Physiologie des Menschen Bd. 2, München - Berlin - Wien: Urban & Schwarzenberg 1971.
- [7] ASCHOFF, J.:
Wien. med. Wochenschrift 108, 404 (1958).

- [8] ASCHOFF, J., R. WEVER:
Kern und Schale im Wärmehaushalt des Menschen.
Naturwissenschaften 45, 477 - 485 (1958).
- [9] ASCHOFF, J.:
Wärmehaushalt, S. 331 - 369 in: LANDOIS-ROSEMAN: Lehr-
buch der Physiologie des Menschen. Bd. 1, München -
Berlin: Urban & Schwarzenberg 1960.
- [10] ASCHOFF, J.:
Hauttemperatur und Hautdurchblutung im Dienst der Tem-
peraturregulation. Klin. Wschr. 36, H. 5, 193 - 202
(1958).
- [11] ATZLER, E., HERBST, R.:
zit. in: [112/102].
- [12] BADER, M. u. M.B. MACHT:
J. Appl. Physiol. 1, 915 (1948/49).
- [13] BARDSWELL and CHAPMAN:
zit. in: [32]
- [14] BARGMANN, W.:
Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen.
Stuttgart: Thieme 1964.
- [15] BAZETT, H.C., E. S. MENDELSON, L. LOVE und R. LIBET:
J. Appl. Physiol. 1, 169 (1948).
- [16] BAZETT, H. C.:
The regulation of body temperatures. In: NEWBURGH, L.W.:
Physiology of heat regulation and the science of clothing,
p. 109 - 192. Saunders, Philadelphia 1949.
- [17] BECKER, R.:
Theorie der Wärme. Nachdruck des berichtigten Neudruckes
1961, Berlin - Heidelberg, New York: Springer 1966.

- [18] BENEDICT, F. G. und E. P. CATHCART:
Muscular work, a metabolic study with special reference
to the efficiency of the human body as a machine. Carneg.
Inst. Publ. 1913, Nr. 187.
- [19] BENZINGER, T. H., C. KITZINGER, A. W. PRATT: The human
thermostat. In: HARDY, J. D.: Temperature, its measure-
ment and control in science and technology, Vol 3, p.
637 - 665. New York: Reinhold 1963.
- [20] BENZINGER, T. H.:
Der Thermostat im Menschen. Bild der Wissenschaft 1,
H. 3, 50 - 59 (1964).
- [21] BENZINGER, T. H.:
Der Thermostat im Menschen II. Bild der Wissenschaft
2/I, 232 - 240 (1965).
- [22] BENZINGER, T. H.:
Heat regulation: Homeostasis of central temperature in
man. Physiol. Rev. Vol. 49, 671 - 759 (1969).
- [23] BLAIR, E.:
Clinical Hypothermia. Mc Graw-Hill, New York 1964.
- [24] BLIGH, J.:
The initiation of thermal polypnoea in the calf.
J. Physiol. 136, 413 - 419 (1957).
- [25] BROOKS, F. W., R. G. MITTON:
Eine Untersuchung der Feuchtigkeitsverhältnisse in der
Umgebung von Fuß und Schuh. Das Leder 20, 287 (1969).
- [26] BROUGHTON, R. H.:
Reinfektion von Socken und Schuhen bei Fußpilzerkran-
kungen. Brit. J. of Derm. 67, 249 - 254 (1955).

- [27] BRÜCK, K. und H. HENSEL:
Pflügers Arch. 257, 70 (1953), zit. in: [9].
- [28] BRUN, R.:
Dermatologica 111, 316 (1955), zit. in: [55/169].
- [29] BURTON, A. C.:
J. Nutrit. 7, 497 (1934).
- [30] BURTON, A. C., O. G. EDHOLM:
Man in a cold environment. P. 1 - 273, London: Arnold
1955.
- [31] CARLSON, L. D.:
Temperature. Ann. Rev. Physiol. 24, 85 - 108 (1962).
- [32] CHRISTENSEN, E. H.:
Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit.
II. Mitteilung: Die Körpertemperatur während und unmittel-
bar nach schwerer körperlicher Arbeit. Arbeitsphysio-
logie 4, 154 (1931).
- [33] CLAUSS, G., H. EBNER:
Grundlagen der Statistik für Psychologie, Pädagogen und
Soziologen. Frankfurt/Main und Zürich: Verlag Harri
Deutsch 1970.
- [34] DACHTLER, H.:
Mikroorganismen der menschlichen Haut und ihre Wirkung
auf verschiedene Textilfasern. Dissertation, Technische
Hochschule Stuttgart 1952.
- [35] DÄUBLER, K.:
Die Grundzüge der Tropenhygiene, v. Enslin Berlin 1900.
- [36] DIEBSCHLAG, W.:
Der Einfluß verschiedener Oberbaumaterialien auf Fußvolu-
men und Behaglichkeitsklima im Schuh. Z. Orthop. 110,
853 - 856 (1972).

- [37] DIEBSCHLAG, W.:
Advantages and disadvantages of leather and synthetics used as shoe upper materials. Shoematerials-Progress 6, 263 - 274 (1974), England.
- [38] DIEBSCHLAG, W., MÜLLER-LIMMROTH, W.:
Shoe and foot. Experimental results of physiological wearing-tests (1975).
- [39] DIEBSCHLAG, W.:
Physiologische Tretbahn-Untersuchungen über das Behaglichkeitsklima in Schuhen mit verschiedenen Oberbaumaterialien. Pflügers Arch. Bd. 319, H. 3/4, R 98 (1970).
- [40] DIEBSCHLAG, W., MÜLLER-LIMMROTH, W.:
Vergleichende Untersuchungen von natürlichen und synthetischen Schuhschaftmaterialien und deren Bewertung aus physiologischer Sicht. Leder- und Häutemarkt 23, 212 - 232 und 260 - 265 (1971).
- [41] DIEBSCHLAG, W.:
Volumenschwankungen im Bereich der unteren Extremität, speziell der Füße, und ihre Beeinflussung durch verschiedene Schuhschaftmaterialien. Das Leder 23, 1 - 8 (1972).
- [42] DIEBSCHLAG, W.:
Klimatechnische Untersuchungen der physiologischen Zusammenhänge im Funktionssystem Fuß - Schuh unter Verwendung verschiedener Schuhschaftmaterialien. Dissertation, Technische Universität München (1972).
- [43] DIEBSCHLAG, W., MÜLLER-LIMMROTH, W.:
Die Bewertung natürlicher und synthetischer Schuhschaftmaterialien aus der Sicht des Physiologen im Hinblick auf Fußkomfort und Gesundheit. Phlebol. u. Proktol. 1, 207 - 224 (1972).

- [44] DIEBSCHLAG, W.:
Neueste Ergebnisse der Trageversuche von Schuhen und Socken. Bekleidungsmedizin 13 Nr. 3, 6 - 12 (1973).
- [45] DIEBSCHLAG, W.:
Vorzüge und Nachteile von Leder und Synthetics bei Verwendung als Schuhschaftmaterial. Leder- und Häutemarkt 25, 682 - 689 (1973).
- [46] DIEBSCHLAG, W., MAUDERER, V.:
Experimentelle und theoretische Untersuchungen über das Wärme- und Feuchteverhalten eines neuartigen synthetischen Schuhschaftmaterials (PVC-flow-moulding-Produkt). Das Leder 24, 201 - 210 und 225 - 232 (1973).
- [47] DIEBSCHLAG, W., MAUDERER, V., BEIERLEIN, H. R., WACHSMANN, I.:
Der Einfluß von Socken auf das klimatische Trageverhalten von Schuhen mit Leder- und Synthetikschaft. Schuhmarkt 78/118 Nr. 12, 38 - 47 (1975).
- [48] DIEBSCHLAG, W., MAUDERER, W.:
The influence of various socks on the microclimate in shoes with uppers of leather or synthetic material. Pflügers Arch.-Europ. J. Physiol. Suppl. to Vol. (1975).
- [49] DIEBSCHLAG, W., MAUDERER, V.:
Die Behaglichkeit in der Fußbekleidung. Kongreß-Berichte der II. Wissenschaftl. Konferenz der Technologischen Fakultät Gottwaldow der TU Brünn/CSSR 1975.
- [50] DUBOIS, D. und DUBOIS, E. F.:
Clinical Calorimetry, tenth paper: A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch. intern. Med. 17, 863 - 871 (1916).

- [51] ELIASSON, S., G. STRÖM:
On the localization in the cat of hypothalamic and cortical structures influencing cutaneous blood flow. Acta physiol. scand. 20, Suppl. 70, 113 - 118 (1950).
- [52] ENDRES, G.:
Zschr. exp. Med. 63, 739 (1928), zit. in: [157/228].
- [53] ERLANGER, J. und H. S. GASSER:
Electrical signs of nervous activity. Philadelphia 1937.
- [54] EULER, K. I.:
Energie-Direktumwandlung, München: Thiemig 1967.
- [55] FIEDLER, H. P.:
Der Schweiß. 2. Auflage, Aulendorf/Württ.: Editio Cantor KG 1968.
- [56] FISCHER, W. und W. SCHMIDT:
Untersuchung der bleibenden Dehnung bei Leder und synthetischem Obermaterial im Zusammenhang mit dem Trageverhalten. Das Leder 24, 164 - 170 (1973).
- [57] FOLKOW, B.:
Der periphere Blutkreislauf in physiologischer Sicht, einige praktische Ergebnisse. Triangel 8, 70 - 77 (1967).
- [58] FRANK, W.:
Fußwärmeuntersuchungen am bekleideten Fuß. Gesundheitsingenieur 80, 193 - 201 (1959).
- [59] FREY, M. von:
Beiträge zur Sinnesphysiologie der Haut. III. Ber. sächs. Ges. (Akad.) Wiss. 47, 166 - 184 (1895).
- [60] FRIESER, E.P.:
Hygienische Ausrüstung von synthetischen Fasern. Chemiefasern 12, 492 - 496 (1962).

- [61] GALL, G. Hrsg.:
Katalog "Deutsches Ledermuseum - Deutsches Schuhmuseum"
3. Aufl., Offenbach/M. 1967.
- [62] GANONG, W. F.:
Medizinische Physiologie, Berlin - Heidelberg - New York:
Springer 1971.
- [63] GEDIGK, P., TOTOVIC, V.:
Zell- und Gewebsschäden, S. 1 - 68 in: EDER, M. und
P. GEDIGK: Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie und der
Pathologischen Anatomie. Berlin - Heidelberg - New York:
Springer 1974.
- [64] GEIGY, J. A., AG:
Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen. 6. Aufl.
Basel.
- [65] GÖTZ, H.:
Zur Behandlung der Epidermophytie. Münchner med. Wochen-
schr., 1524 - 1527 (1952).
- [66] GÖTZ, H., ELSNER, M.:
Untersuchungen über den Einfluß von Strümpfen aus Poly-
amid auf die Tinea (Epidermophytia) pedis. Mykosen 4,
6 - 18 (1961).
- [67] GÖTZ, H.:
Ätiologie, Klinik und Differentialdiagnose der Dermato-
mykosen und Candidiasis. Aus: Therapeutische Berichte,
Med. Mykologie, Bayer Leverkusen 1975, S. 17 - 29.
- [68] GREGORETTI, L.:
Angioarchitectonique de l'hypothalamus de l'homme.
Acta neuroveg. 12, 25 - 40 (1955).
- [69] GREITHER, A.:
Dermatologie und Venerologie, Berlin - Heidelberg -
New York: Springer 1972.

- [70] GROLLMANN:
Physiologic variations of the cardiac output in man.
Am. J. Physiol. 95: 263 (1930).
- [71] GROPPER, H.:
Fußpilzerkrankungen im Rahmen der DB. Der ärztliche
Dienst DB 24, 99 (1963).
- [72] GROSSE-BROCKHOFF, F.:
Pathologische Physiologie, 2. Aufl., Berlin - Heidel-
berg - New York: Springer 1969.
- [73] GUYTON, A. C.:
Textbook of Medical Physiology, 3 Ed., W. B. Saunders
Comp. Philadelphia and London 1966.
- [74] HANSEN, P.:
Dermatomykosen im Betrieb und beim Sport unter Berück-
sichtigung ihrer Epidemiologie. Therapeutische Berich-
te 30, 140 - 143 (1958).
- [75] HARDY, J. D., DU BOIS, E. F.:
J. Nutr. 15, 461 (1938 a), zit. in: [10].
- [76] HARDY, J. D., DU BOIS, E. F.:
Basal metabolism, radiation, convection and vaporization
at temperatures of 22 to 35° C. J. Nutrition 15, 477
(1948).
- [77] HEISER u. COHEN:
J. industr. Hyg. 15, 243 (1933), zit. in: [6/50]
- [78] HENSEL, H.:
Physiologie der Thermorezeption. Ergebn. Physiol. 47,
166 - 368 (1952).
- [79] HENSEL, H.:
Mensch und warmblütige Tiere, 329 - 466 in: PRECHT, H.,
CHRISTOPHERSON, J. und H. HENSEL: Temperatur und Leben,
Berlin - Göttingen - Heidelberg: Springer 1955.

- [80] HENSEL, H.:
Heat and cold. Ann. Rev. Physiol. 21, 91 - 116 (1959).
- [81] HENSEL, H.:
Allgemeine Sinnesphysiologie: Hautsinne, Geschmack, Geruch. Berlin - Heidelberg - New York: Springer 1966.
- [82] HENSEL, H., ANDRES, K. H., DÜRING, M. von:
Structure and functions of cold receptors. Pflügers Arch. 352, 1 - 10 (1974).
- [83] HERFELD, H.:
Über Anforderungen an das tragehygienische Verhalten von Materialien für den Schuhbau. Orthopädische Praxis 11/6, 267 (1970).
- [84] HERFELD, H. und G. KÖNIGSFELD:
Leder und Kunststoffe für den Schuhoberbau. Lederinformationen. Hrsg.: Werberat der Deutschen Lederindustrie. 2100 Hamburg 90. Best. Nr. 668, S. 1 - 14.
- [85] HERRMANN, F., IPPEN, H., SCHÄFER, H., STÜTTGEN, G.:
Biochemie der Haut, Thieme Stuttgart 1973.
- [86] HETTINGER, T. und E. A. MÜLLER zit. in: [112/99].
- [87] HILL, L. and M. FLACK:
Observations on body temperature, blood pressure and alveolar tensions of athletes. J. Physiol. (London) 36, Proc. 11 (1907).
- [88] HOLTORFF, J., BLASCHKE-HELLMESSEN, R., BÖTTGER, D.:
Zbl. Gynäk. 82, 137 (1970), zit. in: [103/65].
- [89] HORVATH, S. M., MENDUKE, H., PIERSOL, G. M.:
Oral and rectal temperatures of man. J. Amer. med. Ass. 144, 1562 - 1564 (1950).

- [90] JANN, R.:
Geburtsh. u. Frauenhk. 12, 931 (1952): zit. in:
[103/67].
- [91] JANSKY, L.:
Adaptibility of heat production mechanisms in homeo-
therms. Acta Univ. Carol. Biol. (Prag) 1, 1 - 91 (1965).
- [92] KADEN, R.:
Desinfektion bei Dermatomykosen. Dtsch. med. Wochenschrift
86, 2027 (1961).
- [93] KADEN, R.:
Waschdesinfektion von Bekleidungsstücken bei Dermatomy-
kosen. Die Therapiewoche, 149 - 151 (1962).
- [94] KAPPEL, U.:
Experimentelle Untersuchungen über die Desinfektionsmög-
lichkeiten von mit hautpathogenen Pilzstämmen infizier-
ter Strumpfbekleidung aus Chemiefasern. Mykosen 3, 83 -
93 (1960).
- [95] KAUFMANN, W., THAUER, R., ZÖLLNER, G.:
Die Bedeutung der Atemwege für die Wärmeregulation. Ar-
chiv für physikal. Therapie 7, H. 2, 189 - 196 (1955).
- [96] KAWAKATA, A. und T. ADAMS:
Racial variations in sweat gland distribution. Proc.
Soc. Exp. Med. 106, 862 - 865 (1961).
- [97] KEELE und NEIL:
Sampson Whright's Applied Physiology, 11th ed. Oxford:
University Press 1965, zit. in: [62/258].
- [98] KERRUN, D.:
Über den Nachweis pathogener Pilzerreger in Bekleidungs-
stücken. Inaugural-Dissertation, Berlin.
- [99] KERSLAKE, D. Mck. und K. E. COOPER:
Clin. Science 9, 31 (1950), zit. in: [9/354].

- [100] KIENER, F.:
Kleidung, Mode Mensch. München - Basel: Reinhardt 1956.
- [101] KLARMANN, E. G.:
Amer. Perfumer 52, 33 (1948).
- [102] KOIBUCHI, S.:
Quantitative Untersuchung der Anhangsorgane der Haut
bei dem japanischen Kind. Okayima, K. III. Mitteilung
von "Quantitative Untersuchungen der Anhangsorgane".
Fol. Anat. Jap. 10, 125 - 168 (1932) zit. n. PINKUS in
Z. Haut-Geschl. Kr. 42, 52 - 54 (1932).
- [103] KORTE, W., PATT, V., NIESEN, M.:
Pathogenese und Klinik der Genitalmykosen, 57 - 70 in:
Med. Mykologie. Therapeutische Berichte Hrsg. Bayer Lever-
kusen 1975, S. 57 - 70.
- [104] KOSLOWSKI, L. und F. KRAUSE:
Kälte und Wärme, S. 1042 - 1055 in: [168].
- [105] KRAMER und SCHULZE:
Pflügers Arch. ges. Physiol. 250, 141 (1947).
- [106] KRAUSE, W.: zit. n. JADASSOHN, J.:
Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten Bd. I/1,
300 - 311 (1927).
- [107] KRAUSE, W.:
zit. n. W. C. STUART und MEMMESHEIMER, A.: The sudoripo-
rous glands I. The eccrine glands. Arch. of Dermat. 34,
797 - 808 (1936).
- [108] KUNO, Y.:
Variations in secretory activity of human sweat glands.
Lancet 1, 299 ff. (1938).
- [109] KUNO, Y.:
Human Perspiration, Springfield, Ill. (USA): Charles C.
Thomas Publisher 1956.

- [110] LADELL, W. S. S.:
Brit. Med. Bull. 3, 175 (1945), zit. in: [55/125].
- [111] LANGMAIER, F.:
Die Sorption von Wasserdampf durch Ledererzeugnisse
und ihr Einfluß auf den Tragekomfort von Schuhwaren.
Kongreß-Berichte der II. Wissenschaftl. Konferenz der
Technologischen Fakultät Gottwaldow der TU Brunn/CSSR
1975, S. 76 - 86.
- [112] LEHMANN, G.:
Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin, Bd. 1 Arbeits-
physiologie, Berlin: Urban & Schwarzenberg 1961.
- [113] LEHMANN, G.:
Gerbereiwissenschaft und Praxis, 197, (1966).
- [114] LEONHARDT, H.:
Histologie und Zytologie des Menschen. 2. Aufl.
Stuttgart: Thieme 1969.
- [115] LIEBERS, A.:
Temperaturmessungen, Reihe Automatisierungstechnik
Nr. 27, Berlin: VEB Verlag Technik 1965.
- [116] LIENERT, G. A.:
Testaufbau und Testanalyse. Beltz Weinheim 1961.
- [117] LINDORF, H.:
Temperaturmeßtechnik, Berlin: Allgemeine Elektrizitäts-
Gesellschaft AEG-TELEFUNKEN 1968.
- [118] LIST, C. F.:
Ann. Rev. Physiol. 10, 387 (1948), zit. in: [55/202].
- [119] LLOYD, D. P. C.:
Secretion and Reabsorption, 127 - 151 in: MONTAGNA, W.,
ELLIS, R. A. and A. F. SILVER, eds.: Eccrine Sweat-
Glands in: Advances in Biology of Skin, Oxford - London -
New York - Paris: Pergamon Press 1962.

- [120] LUDWIG, U.:
Die Schweißdrüsenversorgung des menschlichen Fußes.
Dissertation der Maximilians-Universität München 1970.
- [121] MAISSEN, P.:
Der Schuh, 3. Aufl. Frankfurt/Main: Umschau Verlag
1970.
- [122] MALICKE, H., RIETH, H.:
Mykosen 10, 383 (1967).
- [123] MAUDERER, V., DIEBSCHLAG, W.:
The influence of leather- and synthetic-shoe linings
on the humidity in shoes. Pflügers Arch.-Europ. J.
Physiol. Suppl. to Vol. 1975.
- [124] MEMMESHEIMER, A. M.:
Pilzkrankheiten und Berufskrankheiten. Hautarzt 3,
165 (1951).
- [125] MEMMESHEIMER, A.M.:
Gibt es einen ausreichenden Schutz gegen die Pilzer-
krankungen der Haut? Hautarzt 3, 375 (1952).
- [126] MERCK, E. AG:
Chemisch-technische Untersuchungsmethoden für die Le-
derindustrie. Weinheim: Verlag Chemie GmbH 1958.
- [127] MILLER, M. R., RALSTON III, H. J., KASAHARA, M.:
The pattern of cutaneous innervation of the human hand,
foot and breast, 1 - 47 in: MONTAGNA, W., Ed.: Advances
in biology of skin, Vol. 1, cutaneous innervation.
Oxford: Pergamon Press 1960.
- [128] MONTGOMERY, R. M.:
J.A.M.A. 128, 77 (1945)
- [129] MORISON, I. E.:
Foetal and Neonatal Pathology. London: Butterworth 1963.

- [130] MÜLHENS, K.:
Die mikrobielle Besiedlung von Kleidungsstücken aus Wolle, Chemiefasergeweben unter Berücksichtigung der üblichen Reinigungsmaßnahmen. Bekl. Med. 3, 13 - 24 (1966).
- [131] MÜLLER, E. A.:
Klima im Arbeitsraum, PKW-Reihe Arbeitsphysiologie-Arbeitspsychologie. Berlin - Köln - Frankfurt/M.: Beuth-Vertrieb 1962.
- [132] MÜLLER-LIMMROTH, W., DIEBSCHLAG, W.:
Behaglichkeitsklima in Schuhen mit verschiedenen Oberbaumaterialien. Das Leder 22, 1 - 11 (1971).
- [133] MÜLLER-LIMMROTH, W., DIEBSCHLAG, W.:
Einfluß der Struktur und der Rohstoffzusammensetzung bei Schuhen und Strümpfen auf die Hauttemperatur und die Hautfeuchte am Fuß. Schlußbericht des Forschungsvorhabens Nr. 2941 der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen AIF 1975.
- [134] MÜLLER-LIMMROTH, W. zit. in [140].
- [135] MURALT, A. v.:
Prakt. Physiol., Berlin 1948 in: BEHMANN, F. W.: Bestimmung des Energieumsatzes am lebenden Organismus. Sonderdruck aus Archiv für Technisches Messen, Lieferung 256, S. 7.
- [136] NIELSEN, M.:
Skandinav. Arch. Physiol. 79, 193 (1938), zit. in: [55/122].
- [137] N. N.: Körperwärme, Überwärmung, Fieber. Sauna-Archiv, Bd. II, Nr. 5, 99 - 103 (1959).
- [138] N. N.: Krankes Organ Haut. Ärztl. Praxis XX. Nr. 80, 3605 - 3606 (1968).

- [139] N. N.: Hoher Haut-pH disponiert zu Mykosen. Bebl. Med. 3 - 4, 19 (1972).
- [140] N. N.: Ergebnisse neuerer Untersuchungen zu physiologischen und tragehygienischen Fragen am Fuß und Schuh. Leder-Inf., Hrsg.: Werberat der Deutschen Lederindustrie. 2100 Hamburg 90, Best. Nr. 970.
- [141] OBERSTE-LEHN, H.:
Behandlungsprobleme bei Dermatomykosen in: Med. Mykologie, Therapeutische Berichte, Bayer Leverkusen. 1975, S. 32 - 38.
- [142] OTTO, W. und Mitarbeiter:
Dermatomykose und Jahreszeit. Das deutsche Gesundheitswesen 14, 247 - 254 (1959).
- [143] OTTO, W. und Mitarbeiter:
Haben die Jahreszeiten Einfluß auf die epidemische Zunahme der Fußmykosen? Medizinische 3, 126 (1959).
- [144] PANZRAM, H.:
33 Grad Hauttemperatur sind das Optimum. Naturwiss. Rdsch. 2, 67 - 68 (1968).
- [145] PHILIPS:
Industrie-Elektronik, Temperaturmessungen, Technische Mitteilung.
- [146] PICHOTKA, J.:
Der Stoffwechsel der Organismen, S. 147 - 196 in: KEIDEL, W. D.: Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie, Stuttgart: Thieme 1973.
- [147] POLEMANN, G.:
Zum Nachweis hautpathogener Pilze in der Fußbekleidung. Dtsch. med. Wochenschrift 44, 1870 - 1872 (1957).

- [148] RANDALL, W. C.:
Quantitation and regional distribution of sweat glands
in man. J. Clin. Invest. 25, 761 - 767 (1946).
- [149] RAUBER-KOPSCH:
Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen. 19. Aufl.
Stuttgart: Thieme 1955.
- [150] REICHEL, H. und A. BLEICHERT: Physiologie des Menschen.
5. Aufl. Stuttgart: Enke 1970.
- [151] RICHTER, K. H.:
Hitze. Berlin: Staatsverlag der DDR 1966.
- [152] RIESS, W.:
Eigenschaftskriterien synthetischer und natürlicher
Schuhobermaterialien. Bebl. Med. 4 - 5, 4 - 9 (1973).
- [153] RIETH, H.:
D-H-S-Diagnostik. Fortschr. Med. 85, 594 - 595 (1967).
- [154] RUBNER, M. zit. in: SMITH, R. E. und D. J. HOIJER:
Metabolism and cellular function in cold acclimation.
Physiol. Rev. 42, 60 - 142 (1962).
- [155] SAKURAI, M. und MONTAGNA, W.:
J. Invest. Dermatol. 42, 311 (1964).
- [156] SCHADÉ, I. P.:
Die Funktion des Nervensystems. Stuttgart: Gustav
Fischer 1971.
- [157] SCHÄFER, K. E.:
Atmung, S. 187 - 233 in: LANDOIS ROSEMAN: Lehrbuch
der Physiologie des Menschen, Bd. I. München - Berlin:
Urban & Schwarzenberg 1960.

- [158] SCHLÄFKE, M.:
Klimaphysiol. Untersuchungen in einem mit Induktions-
geräten quer durchspülten Büroraum. Int. zur angew.
Physiol. 27, 239 - 256 (1969).
- [159] SCHLEVOGT, E.:
Die fortschreitende Verbreitung der Fußpilzkrank-
heiten (Mykosen). Sauna-Archiv, Bd. I, Nr. 2, 29 - 37
(1958).
- [160] SCHMIDT, F.:
Kinderärztl. Praxis Leipzig 35, 189 (1967), zit. in:
[103/65].
- [161] SCHNEIDER, H.:
Verfahren und Produkte für die hygienische Ausrüstung
von Textilien aus synthetischen Fasern. Melliand-Tex-
tilber. 46, 185 - 189 (1965).
- [162] SCHÖNFELD, J. und Mitarbeiter:
Experimenteller Beitrag zur Dermatophytenflora des
Ostsee-Badestrandes. Arch. f. klin. exp. Dermat. 212,
1 - 78 (1960). Ref.: Dermatol. Wochenschrift 147, 26
(1963).
- [163] SCHOLANDER, P. F. und Mitarbeiter:
Biol. Bull. 99, 225 ff. (1950).
- [164] SCHÜTZ, E.:
Physiologie, 6. Aufl. München und Berlin: Urban &
Schwarzenberg 1961.
- [165] SCHULZ, L.:
Der jahreszeitliche Gang der Temperaturempfindung des
Menschen anhand einer zehnjährigen Beobachtungsreihe.
Arch. physik. Ther. 12, 245 - 255 (1960).

- [166] SELIGER, H. P. R.:
Erkrankungen durch Pilze, S. 412 - 424 in: REPLOH, H.,
OTTE, H. J.: Lehrbuch der med. Mikrobiologie, Stutt-
gart: Gustav Fischer Verlag 1965.
- [167] SHEPHERD, J. T.:
Physiology of the circulation in human limbs in health
and disease. Saunders Philadelphia 1963.
- [168] SIEGENTHALER, W.:
Klinische Pathophysiologie. 2. Aufl. Stuttgart:
Thieme 1973.
- [169] SODEMANN, W. A., SODEMANN, W. A. jr.:
Pathological physiology, mechanisms of disease. 4. Aufl.
Saunders Philadelphia 1967.
- [170] SPIER, H. W., PASCHER, G.:
Physiologie der Hautoberfläche. Aktuelle Probleme der
Dermatologie. Bd. 1, Basel: Karger 1959.
- [171] SPITZER, H., HETTINGER, TH.:
Tafeln für den Kalorienumsatz bei körperlicher Arbeit.
Sonderheft der REFA-Nachrichten. Berlin W 15 - Köln -
Frankfurt/M.: Beuth-Vertrieb GmbH 1969.
- [172] STARCK, D. und FRICK, H.:
Repetitorium anatomicum. 11. Aufl. Stuttgart: Thieme
1967.
- [173] STATHER, F.:
Leder und Kunstleder. Berlin: Akademie-Verlag 1959.
- [174] STEIGLEDER, G. K.:
Haut und Hautanhangsgebilde, S. 691 - 726 in: EDER, M.
und P. GEDIGK: Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie und
der Pathologischen Anatomie. Berlin - Heidelberg -
New York: Springer 1974.

- [175] STÜTTGEN, G.:
Die normale und pathologische Physiologie der Haut.
Stuttgart: Fischer 1965.
- [176] STURDE, H. C.:
3. Arbeitstagung für Bekleidungsmedizin des DMJ, ref.
in: Der ärztliche Dienst DB 23, 363 (1962).
- [177] SZABO, G.:
The number of eccrine sweat glands in human skin. In:
MONTAGNA, W., ELLIS, R. A., SILVER, A. F. ed Advances
in Biology of Skin. Vol. 3 pp. 1 - 5, Pergamon Press
(Oxford, London, New York, Paris) 1962.
- [178] THAUER, R.:
Arbeitsphysiologie 15, 175 /1953).
- [179] THAUER, R.:
Circulatory adjustments to climatic requirements. In:
Handbook of physiology, Section 2: Circulation, 3.
Washington 1965.
- [180] TIEMANN, J.:
Ein Respirationskalorimeter zur Bestimmung des Trans-
formationsgrades der Verbrennung im menschl. Organis-
mus. TH - München, Dissertation 1970.
- [181] THÖLEN, H., BONER, H., MASSINI, M.-A.:
Nephrologie, S. 191 - 253 in: KOLLER, F., NAGEL, G. A.,
NEUHAUS, K.: Internistische Notfallsituationen. Stutt-
gart: Thieme 1974.
- [182] THOMSON, zit. n. [96].
- [183] THURNER, J.:
Jahreszeitliche Schwankungen bei Pilzkulturen. Mykosen
4, 102 - 105 (1961).

- [184] ÜBERLA, K.:
Faktorenanalyse, Berlin - Heidelberg - New York:
Springer 1968.
- [185] URBAN, H. J.:
Dermatomykose und Jahreszeit. Das deutsche Gesundheits-
wesen 16, 1073 - 1075 (1961) 23.
- [186] VAN BEAUMONT, W. u. R. W. BULLARDS:
Sweating: its rapid response to muscular work. Science
141, 643 - 646 (1963).
- [187] VAN DE VELDE;
Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten. Berlin:
Springer 1927.
- [188] WEBSTER, A. P.:
Caloric requirement of man in cold climates: theoret-
ical consideration. J. appl. Physiol. 5, 134 - 142 (1952).
- [189] WETZLER, K.:
Der Mensch in Hitze und Kälte. Kältetechnik 6, 1. Son-
derheft S. 2/11 (1954).
- [190] WHELAN, R. F., SKINNER, S. L.:
Autonomic transmitter mechanism. Brit. med. Bull. 19,
120 - 124 (1963).
- [191] WILDE, H.:
Über die Verbreitung der Pilzinfektionen im Bergbau
und über Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung. Der Hautarzt
6, 116 (1955).
- [192] WILDE, H.:
Verbreitung und Bedeutung der durch Pilze und Bakterien
bedingten Hautkrankheiten im Bergbau. Medizinische 7,
262 (1956).

- [193] WYNDHAM, C. H.:
Role of skin and of core temperature in man's temperature regulation. J. appl. Physiol. 20, 31 - 36 (1965).
- [194] WYNDHAM, C. H., ATKINS, A. R.:
A physiological scheme and mathematical model of temperature regulation in man. Pflügers Arch. 303, 14 - 30 (1968).
- [195] WOODCOCK, A. H., PRATT, R. L.:
Ventilation of Insulated Boots. Headquarters Research & Engineering Command, US ARMY. Quartermaster Research & Engineering Center, Natick, Massachusetts. Environmental Protection Research Division, Technical Report EP-135, 1960.
- [196] ZIEGLER, H.K., VEITH, G.:
Arch. Kinderhk. 175, 179 (1967), zit. in: / 103/67 /.
- [197] ZOTTERMANN, Y.:
Special senses: Thermal Receptors. Ann. Rev. Physiol. 15, 357 - 372 (1953).

8. LEBENSLAUF

Günther H o f m a n n

Geburtsdatum: 29. September 1947

Geburtsort: München

Vater: Albert Hofmann, Ministerialrat a. D.

Mutter: Charlotte Hofmann, geb. Jeckstadt

Volksschule: 1953 - 1957 in München

Gymnasium: 1957 - 1962 Maximiliansgymnasium München
 1962 - 1968 Ludwigsgymnasium München

Reifeprüfung: Juni 1968 am Ludwigsgymnasium München

Studium: Wintersemester 1968 bis Wintersemester
 1969 Rechtsstudium in München
 ab Wintersemester 1969 Human-Medizin in
 München
 Vorphysikum SS 1971
 Physikum SS 1973
 Staatsexamen WS 1976

